



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PERANCANGAN *MIXER* UNTUK MOBILE *WIMAX* PADA  
FREKUENSI 2,3 GHz**

**SKRIPSI**

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik

**ZAKIYY AMRI**  
**04 05 03 0842**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
DEPOK  
JUNI 2009**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

**Nama : Zakiyy Amri**  
**NPM : 0405030842**  
**Tanda Tangan :**  
**Tanggal : 17 Juni 2009**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Zakiyy Amri  
NPM : 0405030842  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul Skripsi : **Perancangan Mixer Untuk Mobile WiMAX Pada Frekuensi 2,3 GHz**

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

### DEWAN PENGUJI

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

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

Penguji : Dr. Ir. Purnomo Sidi Priambodo, M.Sc ( )

Ditetapkan di : Depok  
Tanggal : 2 Juli 2009

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur hanyalah kepada Allah SWT sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Penulis juga tidak lupa mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ir. Gunawan Wibisono, M.Sc, Ph.D, selaku pembimbing skripsi, yang telah bersedia meluangkan waktunya dalam memberikan arahan, masukan-masukan, dan membuka wawasan berpikir penulis selama menyelesaikan skripsi ini.
2. Orang tua, Kakak, dan Adik yang teramat besar jasanya, dan selalu berdoa untuk keberhasilan penulis.
3. Rekan satu kelompok yang selalu membantu dalam setiap permasalahan yang penulis hadapai untuk menyelesaikan skripsi ini.
4. Seluruh rekan Elektro, khususnya angkatan 2005, yang selalu dengan senang hati membantu dan memberikan dorongan kepada penulis.

Akhir kata semoga Allah SWT membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu penulis dan kami mohon maaf atas segala hal yang kurang berkenan.

Depok, Juni 2009

**Penulis**

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

---

---

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

Nama : Zakiyy Amri  
NPM : 0405030842  
Program Studi : Teknik Elektro  
Departemen : Elektro  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Skripsi

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

**Perancangan Mixer Untuk Mobile WiMAX Pada Frekuensi 2,3 GHz**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 17 Juni 2009

Yang menyatakan

(Zakiyy Amri)

## ABSTRAK

Nama : Zakiyy Amri  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul : Perancangan *Mixer* untuk *Mobile WiMAX* pada Frekuensi 2,3 GHz

Saat ini, teknologi telekomunikasi berkembang semakin pesat. Layanan data dan suara sudah menjadi kebutuhan standar komunikasi. Para pengguna jasa telekomunikasi kini membutuhkan layanan telekomunikasi yang dapat dilakukan kapanpun dan dimanapun sehingga layanan *mobile wireless* menjadi kebutuhan mereka. Teknologi *WiMAX* dengan standar IEEE 802.16e akan menjadi pilihan bagi masyarakat yang memiliki mobilitas tinggi.

Teknologi *WiMAX* terbagi menjadi dua bagian yaitu penerima dan pengirim. Bagian penerima akan menerima sinyal yang berfrekuensi 2,3 GHz, sinyal ini akan diteruskan dari bagian RF ke baseband namun karena baseband memproses sinyal dengan frekuensi 100 MHz maka diperlukan suatu divais pentranslasi frekuensi carrier ke frekuensi carrier yang berbeda. Untuk itu digunakan divias mixer yang akan mencampur frekuensi inputan dengan frekuensi local oscillator sehingga menghasilkan frekuensi yang diharapkan.

Pada skripsi ini dibahas mengenai perancangan rancangan mixer yang terdiri dari inti mixer, balun, DC bias, dan impedance matching. Hasil keluaran dari mixer ini merupakan pencampuran sinyal input dari LNA dan local oscillator yang akan menjadi inputan bagi bandpass filter. Parameter-parameter yang ditetapkan sebagai spesifikasi mixer ini adalah conversion gain, noise figure, 1 dB compression gain, dan IIP3.

Kata kunci :

*mixer, mobile WiMAX, gilbert cell mixer, WiMAX*

## ABSTRACT

Name : Zakiyy Amri  
Study Program : Electrical Engineering  
Title : Design of *Mixer* for Mobile *WiMAX* at 2.3 GHz

Nowadays, telecommunication technology increase very rapidly. Voice and data services has become a standart communcation needs. The telecommunication costumers need a telecommunication service which can be accessed anywhere and anytime so that a mobile wireless service become their need. *WiMAX* technology with IEEE 802.16e standart will be people's option to overcome their high mobility.

*WiMAX* technology divided into two side that is receiver and transmitter. The receiver will receive 2.3 GHz signal, this signal will be continued from RF to baseband, however, baseband process a signal with 100 MHz frequency so it is required a device translating one carrier frequency to another carrier frequency. For that reason, mixer is used for mixing input frequency with local oscillator frequency resulting expected frequency.

In this thesis, explain about designing mixer which consists of mixer core, balun, DC bias, and impedance matching. The output of this mixer is mixed signal from LNA and local oscillator that will be acted as an input for bandpass filter. The Parameters specified for this mixer is conversion gain, noise figure, 1 dB compression gain, and IIP3.

Keywords:

*mixer*, mobile *WiMAX*, gilbert cell *mixer*, *WiMAX*

## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH .....	v
ABSTRAK .....	vi
ABSTRACT .....	vii
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR TABEL .....	xii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiii
<b>BAB 1. PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Sistematika Penulisan.....	2
<b>BAB 2. DASAR TEORI.....</b>	<b>3</b>
2.1. <i>WiMAX</i> .....	3
2.1.1. Pengertian <i>WiMAX</i> .....	3
2.1.2. Perkembangan Teknologi <i>Wireless</i> .....	4
2.1.3. Spektrum Frekuensi <i>WiMAX</i> .....	4
2.1.4. Standar IEEE 802.16 <i>WiMAX</i> .....	5
2.2. <i>Mixer</i> .....	5
2.2.1. <i>Up &amp; Down Conversion Mixer</i> .....	7
2.2.2. <i>Unbalanced &amp; Balanced Mixer</i> .....	8
2.2.3. <i>Passive &amp; Active Mixer</i> .....	11
2.3. Dasar Rangkaian Elektronika.....	11
2.3.1. Dasar Transistor MOSFET.....	11
2.3.2. Bias dalam Transistor MOSFET.....	16
2.3.2. Impedance Matching.....	18
2.4. Parameter- Parameter <i>Mixer</i> .....	21
2.4.1. <i>Conversion Gain</i> .....	22
2.4.2. <i>Noise Figure</i> .....	22
2.4.3. Linearitas.....	23
<b>BAB 3. PERANCANGAN <i>MIXER</i> 2,3 GHz.....</b>	<b>24</b>
3.1. Inti <i>Mixer</i> .....	27
3.1.1. Gilbert cell <i>mixer</i> .....	27
3.1.2. Cara kerja rangkaian gilbert cell <i>mixer</i> .....	28
3.1.3. Proses rancangan inti <i>mixer</i> .....	29
3.2. DC Bias.....	30



3.3. <i>Input dan Output Impedance Matching</i> .....	32
3.4. Balun .....	36
3.5. Hasil Perancangan <i>Mixer</i> .....	37
<b>BAB 4. HASIL SIMULASI DAN ANALISA</b> .....	<b>38</b>
4.1. Rangkaian Gilbert Cell <i>Mixer</i> .....	38
4.2. Simulasi <i>Conversion Gain</i> dan <i>Noise Figure</i> .....	39
4.3. Simulasi Pengaruh Perubahan Daya <i>Local oscillator</i> Terhadap <i>Noise Figure</i> dan <i>Gain</i> .....	41
4.4. Simulasi Pengaruh Perubahan Daya Input <i>Radio Frequency</i> Terhadap <i>Compression Gain</i> .....	44
4.5. Simulasi <i>Input Intercept Point</i> Orde 3.....	46
<b>BAB 5. KESIMPULAN</b> .....	<b>50</b>
<b>DAFTAR ACUAN</b> .....	<b>51</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	<b>52</b>
<b>LAMPIRAN</b> .....	<b>53</b>

## DAFTAR GAMBAR

		Halaman
Gambar 2.1	<i>Mixer</i> .....	6
Gambar 2.2	<i>Mixer upconverting</i> .....	7
Gambar 2.3	<i>Unbalanced mixer</i> .....	8
Gambar 2.4	Unbalanced <i>mixer</i> alternatif.....	9
Gambar 2.5	<i>Single balanced mixer</i> .....	9
Gambar 2.6	<i>Double balanced mixer</i> .....	10
Gambar 2.7	Struktur MOSFET <i>depletion-mode</i> .....	12
Gambar 2.8	Penampang MOSFET <i>depletion-mode</i> .....	13
Gambar 2.9	Kurva drain transistor MOSFET <i>depletion-mode</i> .....	14
Gambar 2.10	Struktur MOSFET <i>enhancement-mode</i> .....	14
Gambar 2.11	Kurva drain E-MOSFET .....	16
Gambar 2.12	Simbol MOSFET, (a) kanal-n (b) kanal-p .....	16
Gambar 2.13	<i>Fixed bias</i> .....	17
Gambar 2.14	<i>Self bias</i> .....	17
Gambar 2.15	<i>Voltage divider biasing</i> .....	18
Gambar 2.16	Diagram blok impedance matching.....	18
Gambar 2.17	L section matching.....	19
Gambar 2.18	(a) Induktansi seri; (b) Kapasitansi seri.....	20
Gambar 2.19	(a) Induktansi paralel; (b) Kapasitansi paralel.....	20
Gambar 2.20	Matching dengan menggunakan smith chart.....	21
Gambar 3.1	Susunan rangkaian RF pada <i>WiMAX</i> .....	25
Gambar 3.2	Rangkaian <i>mixer</i> ideal.....	26
Gambar 3.3	Rangkaian penyusun <i>mixer</i> .....	26
Gambar 3.4	Rangkaian inti gilbert cell <i>mixer</i> .....	28
Gambar 3.5	Rancangan rangkaian gilbert cell <i>mixer</i> .....	29
Gambar 3.6	Komponen pasif pada inputan RF .....	30
Gambar 3.7	Rangkaian bias tetap pada MOSFET dengan inputan LO .....	31
Gambar 3.8	Rangkaian bias tetap pada MOSFET dengan inputan RF .....	31
Gambar 3.9	Rangkaian dc bias aktif.....	32
Gambar 3.10	Simulasi S parameter pada rangkaian tanpa <i>impedance</i> .....	33
	<i>matching</i>	
Gambar 3.11	Rangkaian <i>input impedance</i> pada (a)RF dan (b)LO .....	34
Gambar 3.12	Rangkaian <i>output impedance</i> pada IF .....	35
Gambar 3.13	Rangkaian <i>mixer</i> setelah dilakukan impedance matching .....	36
Gambar 3.14	Balun pada <i>mixer</i> .....	36
Gambar 3.15	Rangkaian <i>mixer</i> untuk <i>WiMAX</i> 2.3 GHz .....	37
Gambar 4.1	Rancangan rangkaian gilbert cell <i>mixer</i> .....	38
Gambar 4.2	Spektrum IF dan daya yang dihasilkan pada frekuensi.....	40
	100MHz	
Gambar 4.3	Simulasi pengaruh daya LO terhadap NF dan Gain .....	41
Gambar 4.4	Grafik daya LO vs NF .....	42
Gambar 4.5	Grafik daya LO vs <i>gain</i> .....	42
Gambar 4.6	Simulasi pengaruh daya RF terhadap <i>compression gain</i> .....	45
Gambar 4.7	<i>Compression gain</i> .....	45

Gambar 4.8	Besar <i>compression gain</i> melalui simulasi .....	46
Gambar 4.9	Simulasi <i>input intercept point</i> orde 3.....	47
Gambar 4.10	Resistor DC bias aktif .....	47
Gambar 4.11	Spektrum sekitar frekuensi IF .....	48
Gambar 4.12	Hasil simulasi IIP3.....	48



## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Perbandingan Karakteristik Sistem <i>Wireless</i> .....	4
Tabel 3.1 Spesifikasi Parameter-Parameter <i>Mixer</i> Untuk <i>WiMAX</i> .....	25
Tabel 3.2 Besar <i>Input</i> Dan <i>Output Impedance Matching</i> .....	33
Tabel 3.3 Besar <i>Input</i> Dan <i>Output Impedance Matching</i> Sesuai .....	34
Frekuensi Kerjanya	
Tabel 3.4 Nilai Komponen <i>Input Impedance Matching</i> .....	35
Tabel 3.5 Nilai Komponen <i>Output Impedance Matching</i> .....	35
Tabel 4.1 <i>Noise Figure</i> Pada Rancangan <i>Mixer</i> .....	40
Tabel 4.2 Tabel Perbandingan Daya LO Terhadap <i>Noise Figure</i> Dan <i>Gain</i> ..	43

## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 Parameter MOSFET cmosn.....	53
Lampiran 2 Rangkaian rancangan mixer.....	55



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 LATAR BELAKANG

Perkembangan teknologi telekomunikasi terus meningkat dengan cepat, peningkatan ini diiringi dengan meningkatnya pemakai jasa telekomunikasi yang memiliki kebutuhan layanan berbeda-beda. Dengan semakin tingginya mobilitas para pemakai jasa telekomunikasi, penggunaan media kabel yang telah berkembang tidak lagi mengakomodir keleluasaan aktifitas mereka sehingga kebutuhan akan perangkat telekomunikasi yang mampu digunakan kapanpun dan dimanapun semakin tinggi. Oleh karena itu, dikembangkan suatu sistem telekomunikasi yang menggunakan media tanpa kabel yang dapat mengakomodir kebutuhan pada pemakai jasa telekomunikasi.

Kebutuhan para pemakai jasa telekomunikasi tidak hanya pada layanan suara saja, akan tetapi komunikasi data seperti gambar dan video. Untuk memenuhi kebutuhan ini, dibutuhkan suatu teknologi yang memiliki bandwidth lebar dan bit rate yang besar sehingga komunikasi suara dan data tidak akan terganggu. Salah satu teknologi yang saat ini berkembang dan memenuhi kebutuhan tersebut ialah *WiMAX*.

*WiMAX* (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) merupakan teknologi *wireless broadband* yang sangat cocok untuk melakukan komunikasi berupa data karena *WiMAX* ini mempunyai *bandwidth* yang lebar dan *bit rate* yang besar, sehingga komunikasi suara dan data tidak akan terganggu. Standard *WiMAX* ini diatur oleh standard IEEE 802.16e.

Dalam sistem telekomunikasi *WiMAX* akan kita temui suatu operasi pencampuran frekuensi. Hal ini dilakukan untuk mengeser sinyal informasi yang termodulasi pada sinyal *pembawa* frekuensi tinggi (Sinyal RF) ke sinyal pembawa frekuensi yang lebih rendah atau sebaliknya sehingga mudah diolah. Rangkaian pencampur ini dilihat dari jenis komponen pencampur yang digunakan terbagi ke dalam dua jenis yaitu aktif dan pasif.

## 1.2 TUJUAN

Pada tugas skripsi ini akan dibuat suatu disain perancangan *mixer* yang akan digunakan pada sistem telekomunikasi *WiMAX* dengan pita frekuensi 2,3 GHz. Perangkat lunak yang digunakan dalam perancangan ini adalah ADS (*Advance Design System*) 2008.

## 1.3 BATASAN MASALAH

Masalah dibatasi pada pembahasan teori dasar pendukung perancangan *mixer* serta perancangan disain *mixer* untuk *WiMAX* dengan frekuensi kerja 2,3 GHz dengan standar IEEE 802.16e.

## 1.4 SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika pembahasan laporan skripsi ini adalah sebagai berikut:

### **BAB 1 PENDAHULUAN**

Membahas mengenai latar belakang, tujuan dan batasan masalah, serta bagian dari sistematika penulisan.

### **BAB 2 DASAR TEORI**

Pada bab ini akan dibahas teori mengenai *mixer*, rangkaian yang menyusunnya, serta teori mengenai *WiMAX* dan parameter-parameternya.

### **BAB 3 PERANCANGAN MIXER 2,3 GHz**

Menjelaskan mengenai model dari divais *mixer* serta parameter – parameter *WiMAX* yang digunakan .

### **BAB 4 HASIL SIMULASI DAN ANALISA**

Bab ini menjelaskan analisa dari hasil simulasi rancangan *mixer* yang telah dibuat

### **BAB 5 PENUTUP**

Dikemukakan berupa poin - poin kesimpulan dari keseluruhan laporan skripsi.

## BAB 2

### DASAR TEORI

#### 2.1 WIMAX

##### 2.1.1 Pengertian WiMAX

*WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access)* merupakan teknologi akses nirkabel pita lebar yang dibangun berdasarkan standar IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineering*) 802.16e yang didesain untuk memenuhi kondisi *nonLOS (non Line of Sight)* dan menggunakan teknik modulasi adaptif seperti QPSK, QAM 16, dan QAM64. *WiMAX* dapat digunakan sebagai alternatif kabel modem dan layanan DSL serta sebagai tulang punggung untuk *hotspot-hotspot* Wi-Fi. *WiMAX* menggunakan teknologi OFDM yang merupakan sebuah teknik *multiplexing* sinyal dimana sebuah sinyal dibagi menjadi beberapa kanal dengan pita frekuensi yang sempit dan saling berdekatan, dengan setiap kanal menggunakan frekuensi yang berbeda. Jangkauan operasi *WiMAX* cukup luas sehingga *WiMAX* dapat menjadi infrastruktur yang tepat untuk meningkatkan penetrasi internet.

*WiMAX* merupakan teknologi nirkabel yang menyediakan hubungan jalur lebar dalam jarak jauh. Teknologi *broadband* ini yang memiliki kecepatan akses yang tinggi dan jangkauan yang luas. Disamping kecepatan data yang tinggi mampu diberikan, *WiMAX* juga merupakan teknologi dengan standar terbuka. Dalam arti komunikasi perangkat *WiMAX* diantara beberapa vendor yang berbeda tetap dapat dilakukan. Dengan kecepatan data yang besar (sampai 70 MBps), *WiMAX* dapat diaplikasikan untuk koneksi *broadband 'last mile'* ataupun *backhaul*.



### 2.1.2 Perkembangan Teknologi Wireless

Standar BWA yang saat ini umum diterima dan secara luas digunakan adalah standar yang dikeluarkan oleh *Institute of Electrical and Electronics Engineering (IEEE)*, seperti standar 802.15 untuk *Personal Area Network (PAN)*, 802.11 untuk jaringan *Wireless Fidelity (WiFi)*, dan 802.16 untuk jaringan *Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX)*.

Pada jaringan selular, telah dikembangkan juga teknologi yang dapat mengalirkan data bersamaan dengan jaringan suara seperti GPRS, EDGE, WCDMA, dan HSDPA. Masing-masing evolusi pada umumnya mengarah pada kemampuan menyediakan berbagai layanan baru atau mengarah pada layanan yang mampu menyalurkan suara, *video* dan data secara bersamaan (*triple play*). Perbandingan beberapa karakteristik sistem *wireless* data berkecepatan tinggi ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Perbandingan Karakteristik Sistem *Wireless*

	WiFi 802.11g	WiMAX 802.16-2004	WiMAX 802.16e
Jangkauan	100 Meters	8 Km	5 Km
Throughput Maximum	54 Mbps	75 Mbps (20 MHz band)	30 Mbps (10 MHz band)
Pita Frekuensi	2.4 GHz	2-11 GHz	2-6 GHz
Aplikasi	<i>Wireless LAN</i> <i>Fixed Wireless</i>	<i>Broadband</i>	<i>Portable Wireless</i> <i>Broadband</i>

### 2.1.3 Spektrum Frekuensi *WiMAX*

Sistem *wireless* mengenal dua jenis band frekuensi yaitu *licensed band* dan *unlicensed band*. *Licensed band* membutuhkan lisensi atau otoritas dari regulator, yang mana operator yang memperoleh *licensed band* diberikan hak eksklusif untuk menyelenggarakan layanan dalam suatu area tertentu. Sementara *Unlicensed Band* yang tidak membutuhkan lisensi dalam penggunaannya memungkinkan setiap orang menggunakan frekuensi secara bebas di semua area.

Forum *WiMAX* menetapkan 2 band frekuensi utama pada *certication profile* untuk *Fixed WiMAX* (band 3.5 GHz dan 5.8 GHz), sementara untuk *Mobile WiMAX* ditetapkan 4 band frekuensi pada *system profile release-1*, yaitu band 2.3 GHz, 2.5 GHz, 3.3 GHz dan 3.5 GHz.

Secara umum terdapat beberapa alternatif frekuensi untuk teknologi *WiMAX* sesuai dengan peta frekuensi dunia. Dari alternatif tersebut band frekuensi 3,5 GHz menjadi frekuensi mayoritas *Fixed WiMAX* di beberapa negara, terutama untuk negara-negara di Eropa, Canada, Timur-Tengah, Australia dan sebagian Asia. Sementara frekuensi yang mayoritas digunakan untuk *Mobile WiMAX* adalah 2,5 GHz. Namun untuk di Indonesia, regulator (Pemerintah) telah menetapkan bahwa frekuensi untuk *WiMAX* ini adalah 2,3 GHz.

#### **2.1.4 Standar IEEE 802.16 WiMAX**

Pada awalnya standar *IEEE 802.16* beroperasi pada frekuensi 10-66 GHz dan *line of sight* (LOS), tetapi pengembangan *IEEE 802.16a* yang disahkan pada bulan Maret 2004, menggunakan frekuensi yang lebih rendah yaitu sebesar 2-11 GHz, sehingga mudah diatur, dan tidak memerlukan *line of sight*. *WiMAX* dapat mencakup area sekitar 5 km dan kecepatan pengiriman data sebesar 70 Mbps. *WiMAX* mampu menangani sampai ribuan pengguna sekaligus. Standar *IEEE 802.16a* kemudian direvisi menjadi *IEEE 802.16b* yang menekankan segala keperluan dan permasalahan dengan *quality of service* (QoS) lalu *IEEE 802.16c* yang menekankan pada *interoperability* dengan protokol-protokol lain, *IEEE 802.16e* menekankan pada penggunaan secara *mobile*.

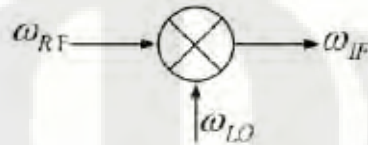
## **2.2 MIXER**

Rangkaian *mixer* adalah rangkaian yang berfungsi untuk mencampur beberapa (dalam hal ini 2) sinyal masukan, yaitu: sinyal informasi (*intermediate frequency* IF) dan sinyal carrier (pembawa) lokal atau disebut *radio frequency* RF.

*Mixer* ideal ialah rangkaian *multiplier* yang biasa digambarkan dengan simbol perkalian seperti Gambar 2.1 dibawah ini. *Mixer* ideal mentranslasikan modulasi dari sebuah frekuensi carrier ke frekuensi carrier lainnya. Sebuah rangkaian linier time invariant (LTI) tidak bisa melakukan translasi frekuensi.

*Mixer* dapat melakukan translasi frekuensi tersebut karena sifat rangkaian yang tidak linier dan berubah-ubah terhadap waktu.[1]

*Mixer* ialah sebuah divais tiga port yang terdiri dari port *Local oscillator* (LO), *Radio Frequency* (RF), dan *Intermediate Frequency* (IF). Port LO dikendalikan oleh sebuah *Local oscillator* yang memiliki sinyal tinggi dengan amplitude yang tetap.



Gambar 2.1 *Mixer*. [1]

Output dari *mixer* dapat berupa:

- Penjumlahan frekuensi dari kedua input tersebut (proses *up-converter*)
- Selisih frekuensi dari kedua input tersebut (proses *down-converter*)
- kedua input tersebut
- Sinyal yang tidak diinginkan

Karena dapat melakukan penjumlahan dan pengurangan terhadap 2 masukan sinyal dengan frekuensi berbeda, maka rangkaian *mixer* tersebut sering pula disebut sebagai perangkat translasi frekuensi dari RF ke IF (*down-converter*) dan dari IF ke RF (*up-converter*).

Proses pencampuran kedua sinyal tersebut dapat dijelaskan secara matematis seperti dibawah ini:

Dengan A merupakan Amplitudo, jika input sinyal informasi ( $f_i$ ) adalah dalam bentuk sinusoidal

$$v_i(t) = A_i \sin 2\pi f_i t \quad (2.1)$$

begitu pula dengan sinyal pembawa lokal ( $f_c$ ) adalah

$$v_c(t) = A_c \sin 2\pi f_c t \quad (2.2)$$

proses mixing diwujudkan dengan proses pengalihan kedua input tersebut sesuai dengan rumus trigonometri:

$$v_i(t)v_c(t) = \frac{A_i A_c}{2} (\cos 2\pi (f_i - f_c)t - \cos 2\pi (f_i + f_c)t) \quad (2.3)$$

Ada dua proses yang terjadi (seperti yang telah disebut diatas) yaitu penjumlahan frekuensi  $(f_i + f_c)$  atau *upconverter* dan pengurangan frekuensi  $(f_i - f_c)$  atau *downconverter*. Untuk merealisasikan proses mixing tersebut, dibutuhkan suatu rangkaian yang dapat mengalihkan kedua input masukan. Sedikitnya ada 3 teknik yang dapat dipertimbangkan untuk merancang rangkaian *mixer*, yaitu

- (1) menggunakan Gilbert cell active *mixer*,
- (2) menggunakan rangkaian yang berbasis pada nonlinear komponen berupa dioda-Schottky dan
- (3) FET sebagai *transconductance mixer*.

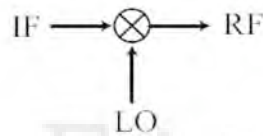
Klasifikasi *mixer* cukup beragam. *Mixer* bisa diklasifikasikan berdasarkan fungsi, topologi, konsumsi daya, dan *transconductance stage*.

### 2.2.1 Up & Down Conversion Mixer

*Mixer* ini menghasilkan dua komponen frekuensi yang berguna pada output, contoh: penjumlahan dan selisih frekuensi ( $\omega_{RF} \pm \omega_{LO}$ ) dan sinyal palsu yang tidak diinginkan. Perbedaan utama antara down dan up conversion *mixer* adalah pada frekuensi sinyal output *mixer* tersebut. Pada *downconversion mixer*, frekuensi sinyal outputnya rendah (biasanya hanya beberapa MHz), dimana pada *upconversion mixer* frekuensi sinyal outputnya tinggi (GHz).

#### a. Upconversion Mixer

Pada *upconversion mixer*, salah satu input selain dari LO biasanya disebut input IF yang frekuensinya jauh lebih rendah dari frekuensi LO. Output dari *mixer* ini ialah penjumlahan dari frekuensi IF dan LO. Gambar 2.2 merupakan simbol dari sebuah *upconversion mixer*.



Gambar 2.2 *Mixer upconverting*. [2]

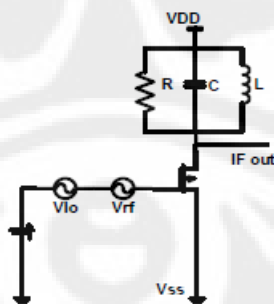
Gambar 2.2 menunjukkan *mixer upconversion* digunakan pada sisi Tx, baik sebagai modulator atau frequency upconverter maupun keduanya, hal ini tergantung dari arsitektur Tx tersebut.

b. *Downconversion Mixer*

*Downconversion Mixer* terdapat pada susunan Rx yang mentranslasikan frekuensi tinggi ke frekuensi lebih rendah sehingga dapat diproses pada bagian IF. Sinyal input *mixer* ini ialah RF dan outputnya ialah IF yang frekuensinya merupakan selisih dari frekuensi RF dan LO.

### 2.2.2 Unbalanced & Balanced Mixer

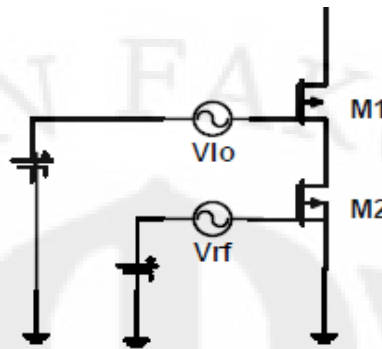
Unbalanced *mixer* merupakan *mixer* yang paling sederhana dengan noise figure yang paling kecil. Sebuah transistor unbalanced *mixer* ditunjukkan pada Gambar 2.3 di bawah ini. Jenis *mixer* ini juga disebut sebagai *Square Law Mixer*. Proses Pencampuran dilakukan dengan menggunakan karakteristik nonlinear square law dari transistor MOS.



Gambar 2.3 Unbalanced *mixer*. [2]

Konfigurasi alternatif dari unbalanced *mixer* ditunjukkan pada Gambar 2.4 di bawah ini. Proses pencampuran dilakukan dengan memodulasi peralihan dari driven stage dengan sinyal LO yang besar. Sinyal LO memodulasi peralihan

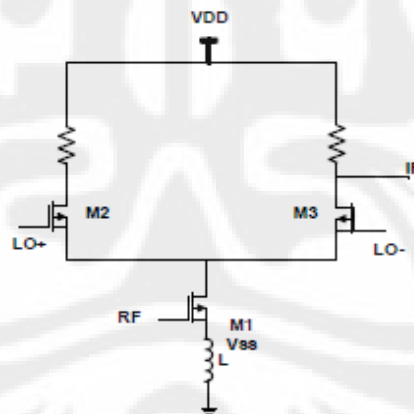
hantaran dari driver stage dengan mengubah-ubah tegangan drain-source  $V_{ds}$  transistor  $M_1$ .



Gambar 2.4 Unbalanced *mixer* alternatif.[2]

Unbalanced *mixer* memiliki isolasi port-to-port yang sangat buruk akibat dari struktur yang mereka miliki. Isolasi port-to-port menentukan gangguan fraksi dari sinyal IF yang muncul pada RF. Pada desain *mixer*, masukan ke port yang berlainan tidak diperkenankan karena dapat menurunkan kinerja Tx dan Rx.

Pada desain unbalanced, noise dari bagian driver pada IF bisa tercampur dengan komponen DC sinyal LO yang akan meningkatkan daya noise pada bagian driver ( $M_1$ )



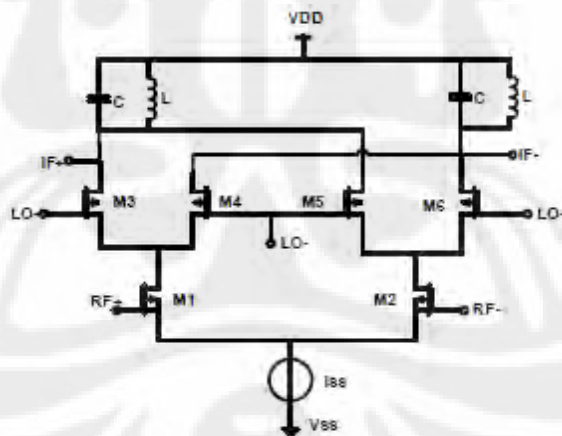
Gambar 2.5 Single balanced *mixer*. [2]

Gambar 2.5 menunjukkan salah satu balanced mixer. Jenis *mixer* ini terdiri dari satu bagian *transconductance* dan pasangan switch berbeda. Tegangan RF yang masuk diubah menjadi arus oleh bagian *transconductance* serta dikuatkan dan multiplikasi dilakukan dalam domain arus. Arus akan dimultiplikasi dengan sinyal LO yang besar. Sehingga, outputnya ialah penjumlahan dan selisih komponen frekuensi.

Rangkaian ini memiliki noise figure yang lebih rendah dibandingkan dengan double balanced *mixer* karena divais yang berkontribusi menimbulkan noise lebih sedikit digunakan.

*Mixer* yang paling sering digunakan ialah double balanced *mixer* yang juga dikenal sebagai Gilbert *Mixer*. Jenis *mixer* ini cocok untuk aplikasi *upconversion* dan juga *downconversion*. *Mixer* ini terdiri dari bagian *transconductance* yang berbeda dan bagian *switching* berbeda pula. Akibat dari struktur yang berbeda, baik feedthrough LO-IF dan RF-IF pengisolasian meningkatkan secara signifikan. Bagian *transconductance* memberikan *gain* untuk mengkompensasi atenuasi akibat proses *switching* dan juga untuk mengurangi kontribusi noise dari transistor *switching*.

*Transconductance* atau proses *driver* terdiri dari transistor  $M_1$  dan  $M_2$  dimana  $M_3$ ,  $M_4$ ,  $M_5$  dan  $M_6$  membentuk bagian *switching*. Beban resistif cocok untuk operasi broadband namun mengurangi tegangan. Untuk output yang besar dan penghematan tegangan, beban resistif diganti dengan rangkaian LC yang sesuai dengan frekuensi output *mixer*. Efek dari hal ini ialah operasi broadband *mixer* akan terbatas.



Gambar 2.6 Double balanced *mixer*. [2]

Gambar 2.6 menunjukkan double balanced mixer. Untuk meningkatkan kelinieritasan dari double balanced *mixer*, terdapat berbagai cara dan yang paling umum ialah *source degeneration*. *Degeneration* bisa diimplementasikan dengan menggunakan resistor, kapasitor, atau induktor. *Degeneration* dengan sumber

reaktif memiliki noise figure yang lebih rendah dibandingkan dengan *degeneration* resistif.

### 2.2.3 Passive & Active Mixer

*Mixer* juga diklasifikasikan berdasarkan daya DC yang digunakan.

#### a. *Mixer* Pasif

*Mixer* pasif yang juga dikenal sebagai *switching mixer* memiliki konstruksi sederhana. *Mixer* ini tidak memerlukan daya DC. *Mixer* ini lebih memiliki conversion loss daripada conversion gain dikarenakan tidak adanya bagian *transconductance*.

*Mixer* pasif memerlukan *switching* yang baik dengan resistansi minimum untuk mengecilkan conversion loss. Sama halnya, switch harus memiliki resistansi tinggi ketika mati. Satu kekurangan *mixer* ini ialah butuhnya sinyal drive LO untuk membuat switch on atau off. Transistor MOS merupakan switch yang sangat bagus untuk aplikasi frekuensi tinggi. Ketika transistor MOS on, transistor ini beroperasi dalam daerah triode dan ketika off bekerja pada daerah cut off.

#### b. *Mixer* Aktif

*Mixer* aktif terdiri dari 2 proses, proses *switching* dan proses *transconductance* serta membutuhkan daya DC statis. *Mixer* aktif bisa dalam bentuk single ended maupun double ended. *Mixer* aktif yang biasa digunakan ialah *mixer* Gilbert Cell. Karena rangkaian ini aktif, proses *transconductance* memberikan voltage gain namun noise figure meningkat. Karakteristik non-linier pada proses *transconductance* menurunkan semua kelinieritasan *mixer* aktif. [3]

## 2.3 DASAR RANGKAIAN ELEKTRONIKA

### 2.3.1 Dasar Transistor MOSFET

Metal Oxide Semiconductor FET atau MOSFET adalah suatu komponen yang dikendalikan oleh tegangan dan memerlukan arus masukan yang kecil. MOSFET memiliki kecepatan *switching* sangat tinggi dan waktu *switching* memiliki orde nanodetik. MOSFET (MOS-Field Effect transistor) memiliki tiga bagian utama yaitu source, drain dan gate. Resistansi antara drain dan source



dikendalikan oleh besarnya tegangan yang masuk ke gate. Hal ini akan memvariasikan depletion layer dibawah gate sehingga dapat mengurangi maupun meningkatkan konduktansi. Input impedansi pada MOSFET memiliki nilai yang sangat tinggi hingga megaohm sehingga arus pada gate bisa dianggap nol.

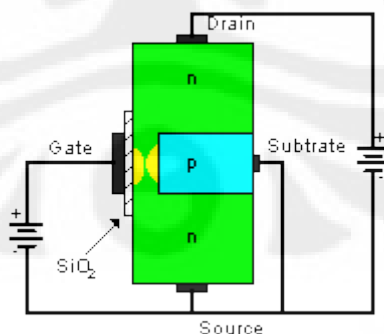
MOSFET memiliki dua tipe yang berbeda yaitu depletion MOSFET dan enhancement MOSFET yang masing-masing memiliki tipe N maupun tipe P. Untuk frekuensi rendah umumnya digunakan enhancement MOSFET sedangkan pada frekuensi tinggi digunakan tipe depletion MOSFET.

MOSFET memiliki dua tipe :

- MOSFET depleksi.
  - a. Kanal-n
  - b. Kanal-p
- MOSFET tipe enhancement.
  - a. Kanal-n
  - b. Kanal-p

#### **MOSFET Depletion-mode**

Gambar 2.7 menunjukkan struktur dari transistor jenis ini. Pada sebuah kanal semikonduktor tipe n terdapat semikonduktor tipe p dengan menyisakan sedikit celah. Dengan demikian diharapkan elektron akan mengalir dari source menuju drain melalui celah sempit ini. Gate terbuat dari metal (seperti aluminium) dan terisolasi oleh bahan oksida tipis  $\text{SiO}_2$ .

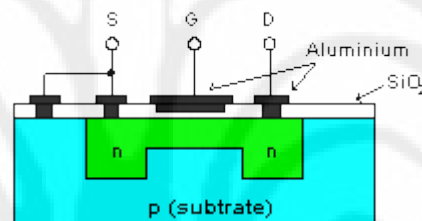


Gambar 2.7 Struktur MOSFET depletion-mode.[4]

Semikonduktor tipe p di sini disebut substrat p dan biasanya dihubungkan dengan source. Lapisan depleksi mulai membuka jika  $V_{GS} = 0$ . Dengan

menghubung singkat substrat p dengan source diharapkan ketebalan lapisan deplesi yang terbentuk antara substrat dengan kanal adalah maksimum. Sehingga ketebalan lapisan deplesi selanjutnya hanya akan ditentukan oleh tegangan gate terhadap source. Pada Gambar 2.7, lapisan deplesi yang dimaksud ditunjukkan pada daerah yang berwarna kuning.

Semakin negatif tegangan gate terhadap source, akan semakin kecil arus drain yang bisa lewat atau bahkan menjadi 0 pada tegangan negatif tertentu. Karena lapisan deplesi telah menutup kanal. Selanjutnya jika tegangan gate dinaikkan sama dengan tegangan source, arus akan mengalir disebabkan lapisan deplesi mulai membuka. Karena gate yang terisolasi, tegangan kerja VGS boleh positif. Jika VGS semakin positif, arus elektron yang mengalir dapat semakin besar.

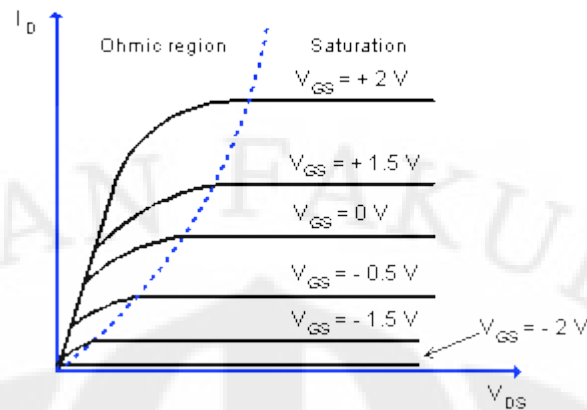


Gambar 2.8 Penampang MOSFET depletion-mode.[4]

Struktur ini adalah penampang MOSFET depletion-mode yang dibuat di atas sebuah lempengan semikonduktor tipe p. Implant semikonduktor tipe n dibuat sedemikian rupa sehingga terdapat celah kanal tipe n. Kanal ini menghubungkan drain dengan source dan tepat berada di bawah gate. Gate terbuat dari metal aluminium yang diisolasi dengan lapisan SiO<sub>2</sub> (kaca).

#### **Kurva drain MOSFET depletion mode**

Analisa kurva drain dilakukan dengan mencoba beberapa tegangan gate VGS konstan, lalu dibuat grafik hubungan antara arus drain ID terhadap tegangan VDS.



Gambar 2.9 Kurva drain transistor MOSFET depletion-mode.[4]

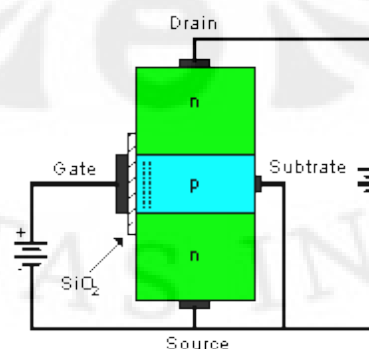
Dari Gambar 2.9 terlihat jelas bahwa transistor MOSFET depletion-mode dapat bekerja (ON) mulai dari tegangan  $V_{GS}$  negatif sampai positif. Terdapat dua daerah kerja, yang pertama adalah daerah ohmic dimana resistansi drain-source adalah fungsi dari :

$$R_{DS(on)} = V_{DS}/I_{DS} \quad (2.4)$$

Jika tegangan  $V_{GS}$  tetap dan  $V_{DS}$  terus dinaikkan, transistor selanjutnya akan berada pada daerah saturasi. Jika keadaan ini tercapai, arus  $I_{DS}$  adalah konstan. Tentu saja ada tegangan  $V_{GS(max)}$ , yang diperbolehkan. Karena jika lebih dari tegangan ini akan dapat merusak isolasi gate yang tipis alias merusak transistor itu sendiri.

### MOSFET Enhancement-mode

Jenis transistor MOSFET yang kedua adalah MOSFET enhancement-mode. Perbedaan struktur yang mendasar adalah, substrat pada transistor MOSFET enhancement-mode sekarang dibuat sampai menyentuh gate, seperti terlihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Struktur MOSFET enhancement-mode.[4]

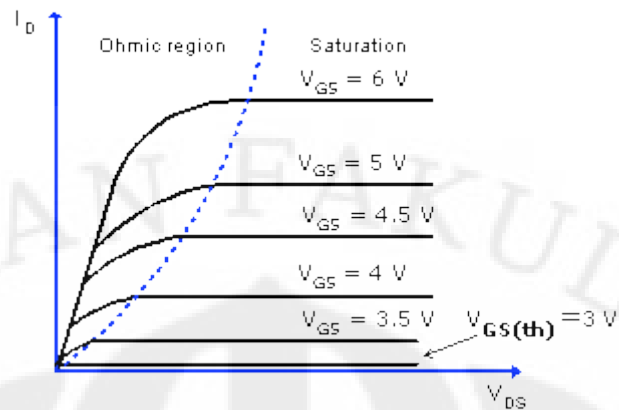
Gambar 2.10 adalah transistor MOSFET enhancement mode kanal n. Jika tegangan gate VGS dibuat negatif, tentu saja arus elektron tidak dapat mengalir. Juga ketika VGS=0 ternyata arus belum juga bisa mengalir, karena tidak ada lapisan deplesi maupun celah yang bisa dialiri elektron. Satu-satunya jalan adalah dengan memberi tegangan VGS positif. Karena substrat terhubung dengan source, maka jika tegangan gate positif berarti tegangan gate terhadap substrat juga positif.

Tegangan positif ini akan menyebabkan elektron tertarik ke arah substrat p. Elektron-elektron akan bergabung dengan hole yang ada pada substrat p. Karena potensial gate lebih positif, maka elektron terlebih dahulu tertarik dan menumpuk di sisi substrat yang berbatasan dengan gate. Elektron akan terus menumpuk dan tidak dapat mengalir menuju gate karena terisolasi oleh bahan insulator SiO<sub>2</sub> (kaca).

Jika tegangan gate cukup positif, maka tumpukan elektron akan menyebabkan terbentuknya semacam lapisan n yang negatif dan seketika itulah arus drain dan source dapat mengalir. Lapisan yang terbentuk ini disebut dengan istilah inversion layer. Karena substrat bertipe p, maka lapisan inversion yang terbentuk adalah bermuatan negatif atau tipe n. Tentu ada tegangan minimum dimana lapisan inversion n mulai terbentuk. Tegangan minimum ini disebut tegangan threshold VGS(th).

### **Kurva Drain MOSFET enhancement-mode**

Pada transistor E-MOSFET, VGS semuanya bernilai positif. Seperti ditunjukkan pada Gambar 2.11, garis kurva paling bawah adalah garis kurva dimana transistor mulai ON. Tegangan VGS pada garis kurva ini disebut tegangan threshold VGS(th).

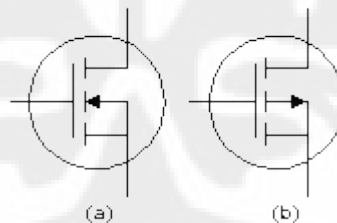


Gambar 2.11 Kurva drain E-MOSFET.[4]

Karena transistor MOSFET umumnya digunakan sebagai saklar (switch), parameter yang penting pada transistor E-MOSFET adalah resistansi drain-source. Biasanya yang tercantum pada datasheet adalah resistansi pada saat transistor ON. Resistansi ini dinamakan  $R_{DS(on)}$ . [4]

### Simbol transistor MOSFET

Garis putus-putus pada simbol transistor MOSFET menunjukkan struktur transistor yang terdiri drain, source dan substrat serta gate yang terisolasi. Arah panah pada substrat menunjukkan type lapisan yang terbentuk pada substrat ketika transistor ON sekaligus menunjukkan type kanal transistor tersebut.



Gambar 2.12 Simbol MOSFET, (a) kanal-n (b) kanal-p.[4]

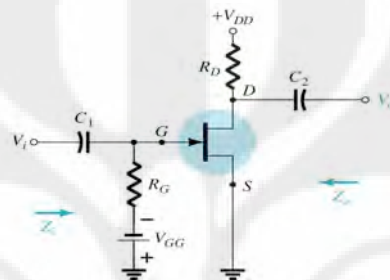
### 2.3.2 Bias dalam Transistor MOSFET

Dalam merancang suatu rangkaian yang menggunakan transistor seperti MOSFET maka harus diperhatikan bagaimana rangkaian biasnya. Rangkaian bias ini diperlukan agar transistor bekerja sesuai dengan yang dibutuhkan. Daerah kerja ini yang biasa disebut *quiescent point* diusahakan bernilai tetap agar ketika parameter-parameter dalam transistor berubah, transistor tetap bekerja sesuai dengan yang telah ditetapkan.

Rangkaian bias dalam MOSFET terbagi menjadi beberapa tipe rangkaian bias, berikut ini merupakan tipe-tipe rangkaian bias pada transistor MOSFET:

a. Fixed bias

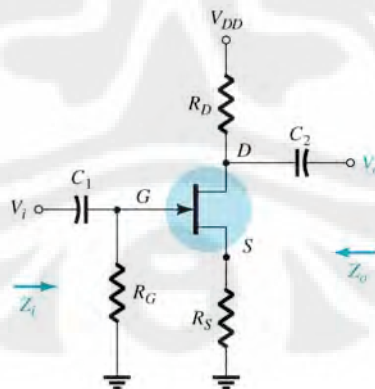
Fixed bias (bias tetap) merupakan rangkaian bias yang paling sederhana dimana. Gate pada transistor akan dibias dengan sumber DC yang tetap. Sumber DC inilah yang akan menentukan daerah kerja pada transistor.



Gambar 2.13 Fixed bias.[5]

b. Self bias

Pada tipe self bias (bias sendiri) ini,  $V_{GG}$  pada fixed bias dihilangkan dan diberikan hambatan tambahan pada source, hal ini menyebabkan  $V_{GG}$  ditentukan oleh tegangan yang ada pada hambatan source ( $R_S$ ).

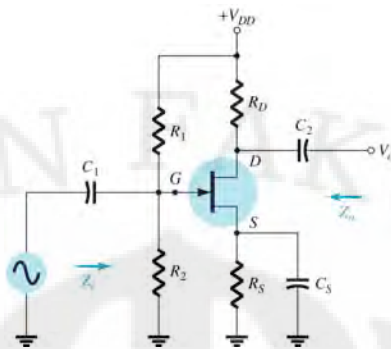


Gambar 2.14 Self bias.[5]

c. Voltage divider biasing

Pada dasarnya, voltage divider pada MOSFET hampir mirip seperti voltage divider pada BJT, hanya saja pada MOSFET ini, arus gate

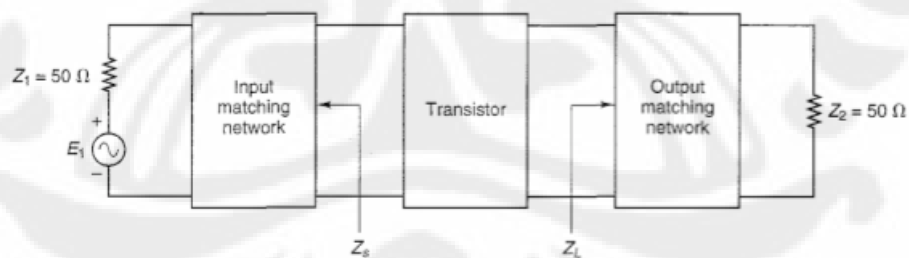
( $I_g$ ) bernilai 0.



Gambar 2.15 Voltage divider biasing.[5]

### 2.3.3 Impedance Matching

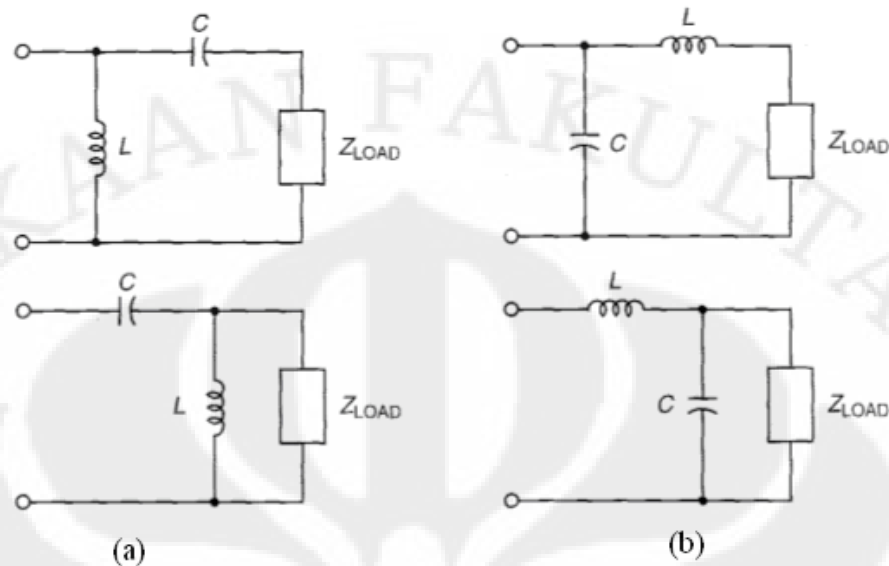
Dalam mendesain sebuah *Mixer*, agar daya dapat ditransmisikan secara maksimal diperlukan rangkaian impedance matching pada bagian input dan output dari rangkaian untuk meminimalisir terjadinya rugi-rugi daya akibat adanya daya yang terpantul. Gambar 2.16 memperlihatkan suatu kondisi dimana suatu transistor yang bertujuan untuk menghantarkan daya maksimum ke beban 50-ohm, harus memiliki terminasi  $Z_s$  dan  $Z_L$ . Rangkaian input matching dirancang untuk mengubah bentuk generator impedance (terlihat pada gambar  $Z_1 = 50$  ohm) menjadi impedansi sumber  $Z_s$ , dan rangkaian output matching 50 ohm terminasi ke load impedance  $Z_L$ .



Gambar 2.16 Diagram blok impedance matching.[6]

## HIGH PASS MATCHING

## LOW PASS MATCHING



Gambar 2.17 L section matching.[6]

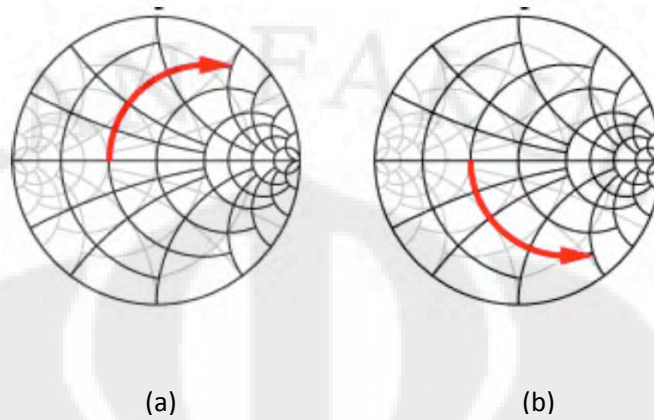
Dalam perancangan rangkaian matching terdapat banyak tipe rangkaian matching, salah satunya adalah tipe L section seperti Gambar 2.17. Rangkaian matching L section ini tidak hanya sederhana tetapi cukup baik untuk diaplikasikan ke dalam rangkaian matching. Rangkaian matching harus memiliki karakteristik tidak memiliki rugi-rugi daya agar tidak menghilangkan daya sinyal.

Untuk melakukan suatu perancangan rangkaian matching dapat dilakukan dengan menggunakan pendekatan matematis ataupun pendekatan dengan menggunakan smith chart. Pada metode smith chart, titik – titik admitansi dan impedansi akan diplot yang merupakan harga normalisasi pada suatu harga tertentu. Titik admitansi dapat diperoleh dari titik impedansi dengan mncerminkannya pada titik tengah, begitu juga sebaliknya. Pada metode smith chart, maka dapat dilakukan dengan penambahan komponen reaktansi seri atau paralel dengan beberapa aturan :

1. Penambahan L seri atau C seri menggerakkan titik impedansi di sepanjang lingkaran resistansi konstan. L seri menambah induktansi sedangkan

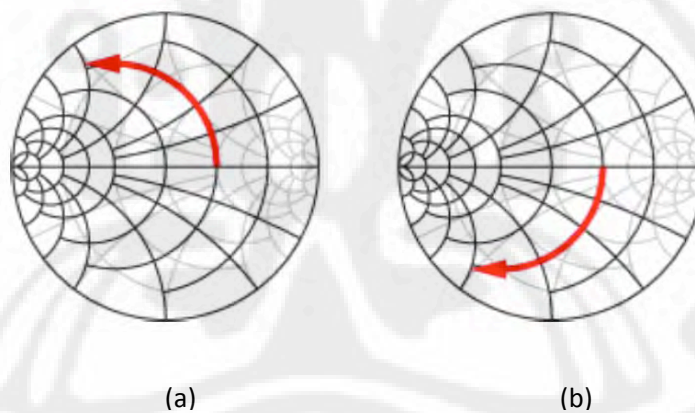


penambahan C seri mengurangi kapasitansi. Gambar 2.18 menjelaskan pergerakan titik impedansi ketika terjadi penambahan L seri dan C seri.



Gambar 2.18 (a) Induktansi seri; (b) Kapasitansi seri.[7]

2. Penambahan L atau C parallel menggerakkan impedansi di sepanjang lingkaran konduktansi konstan. Penambahan C parallel menaikkan kapasitansi sedangkan L parallel mengurangi induktansi, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.19.

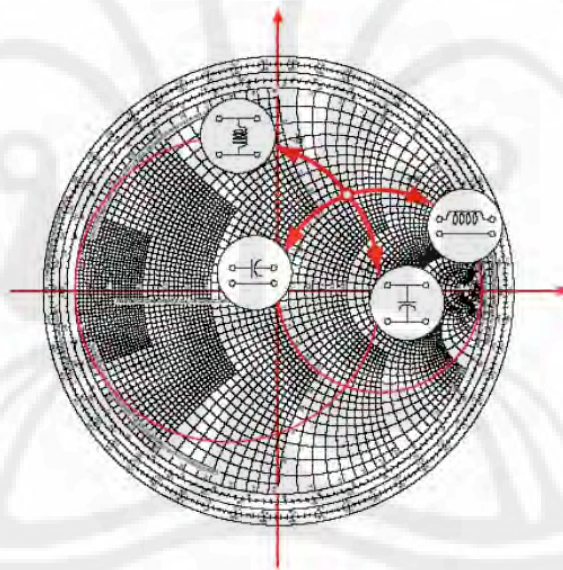


Gambar 2.19 (a) Induktansi paralel; (b) Kapasitansi paralel.[7]

Secara matematis, adalah mudah untuk menghitung efek dari penambahan satu elemen seri. Tapi akan menjadi cukup rumit jika beberapa elemen ditambahkan secara seri dan paralel. Dengan menggunakan smith chart, perubahan impedansi bisa dihitung dengan mudah.

Perubahan dalam impedansi akibat penambahan elemen R, L, atau C pada beban :

- a. Penambahan elemen bisa dilihat sebagai suatu pergerakan dalam smith chart
- b. Induktor seri : reaktansi positif, bergerak searah jarum jam dalam lingkaran resistansi konstan.
- c. Kapasitor seri : reaktansi negatif, bergerak berlawanan arah jarum jam dalam lingkaran resistansi konstan.
- d. Induktor parallel : susceptansi negatif, bergerak berlawanan arah jarum jam dalam lingkaran konduktansi konstan.
- e. Kapasitor parallel : susceptansi positif, bergerak searah jarum jam dalam lingkaran konduktansi konstan.
- f. Secara umum, reaktansi/susceptansi positif bergerak searah jarum jam.



Gambar 2.20 Matching dengan menggunakan smith chart.[7]

## 2.4 PARAMETER-PARAMETER MIXER

Parameter pengukuran performa dari receiver RF yang paling penting ialah sensitivitas dan selektifitas. Sensitivitas bergantung pada *noise figure* dari sistem dan tipe skema demodulasi. Selektivitas meliputi pemilihan *adjacent channel*, image rejection dan juga bergantung pada performa dari receiver. Total

dari *noise figure*  $Nf_{total}$  dan total third-order intercept point  $IIP3_{total}$  dari receiver bisa dihitung dengan menggunakan persamaan di bawah ini :

$$Nf_{total} = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 G_2} + \dots \quad (2.5)$$

$$IIP3_{total} = \left[ \frac{1}{IIP3_1} + \frac{G_1}{IIP3_2} + \frac{G_1 G_2^2}{IIP3_3} + \dots \right]^{-1} \quad (2.6)$$

Dapat dengan jelas diketahui dari 2 persamaan (5) dan (6) bahwa NF pada tingkat pertama dan IIP3 pada tingkat ke dua sangat kritis dalam menentukan keseluruhan noise figure dan third-order intermodulation performance. Pada Rx *heterodyne*, tingkat pertama ialah LNA dan diikuti oleh *mixer downconversion* pada tingkat kedua.

#### 2.4.1 Conversion Gain

Conversion gain dapat didefinisikan sebagai conversion gain daya atau conversion gain tegangan dan direpresentasikan dengan  $G_c$ . Ketika impedansi input dan output *mixer* bernilai sama dengan impedansi sumber, conversion gain daya dan conversion gain tegangan dalam satuan dB bernilai sama.

Voltage conversion gain adalah rasio dari tegangan  $V_{IF(rms)}$  terhadap tegangan  $V_{RF(rms)}$ .

$$G_c = \frac{V_{IF(rms)}}{V_{RF(rms)}} \quad (2.7)$$

Conversion gain daya ialah rasio dari daya output pada beban terhadap daya input RF.

$$G_c = \frac{P_{out(IF)}}{P_{in(RF)}} \quad (2.8)$$

#### 2.4.2 Noise Figure

Noise figure didefinisikan sebagai rasio dari Signal to Noise Ratio (SNR) pada input dibandingkan dengan SNR pada output.

$$NF = \frac{SNR_{input}}{SNR_{output}} \quad (2.9)$$

Noise figure *mixer* bisa dispesifikasika baik sebagai single sideband (SSB) atau double sideband (DSB). Noise figure SSB digunakan pada *mixer* dengan sinyal input yang memiliki satu sideband dengan sideband yang lain telah

dihilangkan oleh image rejectio filter. Noise figure DSB dipakai pada *mixer* yang dimana sinyal input memiliki kedua sideband tersebut.

$$NF_{SSB} = NF_{DSB} + 3 \text{ dB} \quad (2.10)$$

### 2.4.3 Linearitas

Linearitas dari *mixer* berhubungan dengan kemampuan pengendalian tingkat sinyal *mixer*.

a. 1dB compression point

Untuk tingkat sinyal input yang kecil, setiap peningkatan dB pada tingkat sinyal menghasilkan peningkatan dB pada tingkat sinyal output. Seiring meningkatnya tingkat sinyal input, conversion loss dari *mixer* akan turut serta meningkat. 1dB compression point ialah tingkat sinyal input yang dimana conversion loss telah ditingkatkan 1dB. *Mixer* seharusnya melakukan back-off dari 1dB compression point akibat bertambahnya distorsi dari sinyal yang diinginkan (wanted signal), operasi yang ada atau dekat pada kondisi back-off akan meningkatkan tingkat output palsu (spurious).

b. 3<sup>rd</sup> Order Intercept Point (IIP3)

IIP3 ialah titik perhitungan dimana intermodulasi dasar dan hasil 3<sup>rd</sup> Order intermodulation (IM3) saling berpotongan satu sama lain.

## BAB 3

### PERANCANGAN MIXER 2,3 GHz

Pada sistem telekomunikasi *WiMAX*, bagian *radio frequency* (RF) bisa dilihat dari dua sisi yaitu RF *transmitter* dan RF *receiver*. Seperti ditunjukkan pada Gambar 3.1, dua bagian ini memiliki sistem kerja yang berkebalikan walaupun memiliki prinsip kerja yang hampir sama. Pada RF *transmitter*, bagian ini disusun oleh beberapa jenis rangkaian diantaranya:

- *Mixer Upconverting*
- *Local Oscillator*
- *Filter Band*, dan
- *Power Amplifier*

Sedangkan pada bagian RF *receiver*, sistem telekomunikasi *WiMAX* disusun oleh rangkaian yang mirip dengan bagian *transmitter* diantaranya:

- *Low Noise Amplifier*
- *Filter Band*
- *Local Oscillator*
- *Mixer Downconverting*, dan
- *Automatic Gain Control*

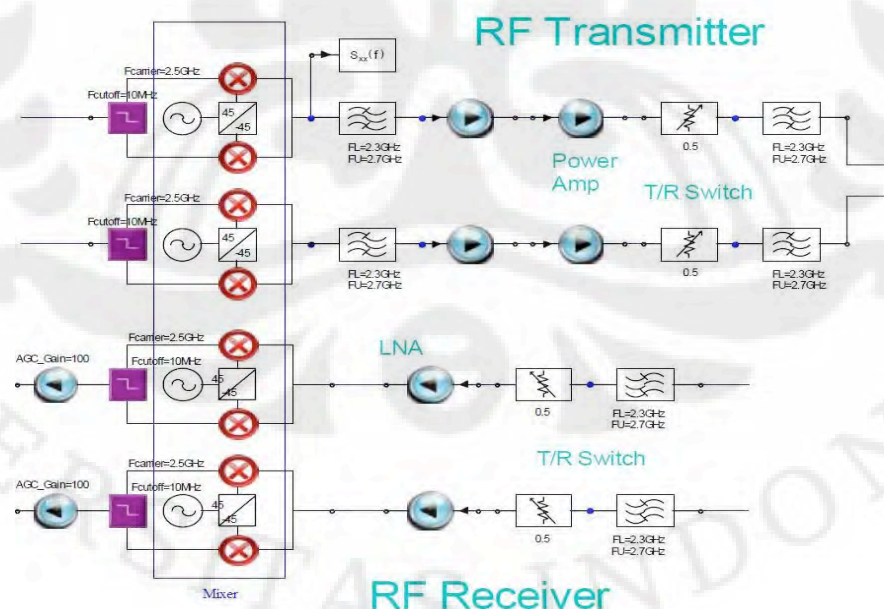
Bagian *mixer* pada *WiMAX* berfungsi untuk mencampur dua sinyal masukan untuk menghasilkan sinyal baru dengan frekuensi yang berbeda. Pada bagian *upconverting*, sinyal input dari *mixer* berupa sinyal informasi (*intermediate frequency*) dan sinyal *local oscillator* yang akan dicampur sehingga menghasilkan sinyal frekuensi radio (sinyal RF). Sebaliknya, pada bagian *receiver*, *mixer* yang digunakan ialah *mixer downconverting* yang memiliki inputan sinyal RF serta sinyal *local oscillator* yang akan menghasilkan sinyal *intermediate frequency*.

*Mixer* yang dirancang merupakan *mixer downconverting* dengan inputan berupa sinyal RF dengan frekuensi 2,3 GHz dan sinyal *Local oscillator* berfrekuensi 2.2 GHz sehingga output yang berupa sinyal IF memiliki frekuensi 100 MHz. *Mixer* yang akan dirancang ini memiliki spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 3.1 Spesifikasi Parameter-Parameter *Mixer* Untuk *WiMAX*

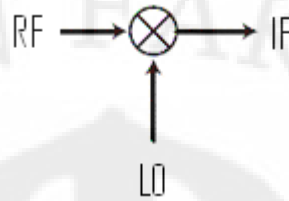
Parameter	Spesifikasi	Satuan
Frekuensi RF	2300	MHz
Frekuensi LO	2200	MHz
Frekuensi IF	100	MHz
Noise figure	<10	dB
Conversion gain	>8	dB
Impedansi sumber	50	Ohm
Impedansi Beban	50	Ohm
Voltage Supply	$\pm 2$	V

Spesifikasi pada divais penyusun bagian RF *WiMAX* ini sebenarnya tidak ada yang ditetapkan. Spesifikasi berdasarkan IEEE 802.16e hanya menetapkan spesifikasi input dan output dari receiver *WiMAX* sehingga untuk spesifikasi divais penyusunnya dibebaskan dengan syarat input dan output divais penyusun *WiMAX* ini bila digabungkan akan memenuhi spesifikasi menurut IEEE 802.16e. Spesifikasi *mixer* di atas diambil dari spesifikasi *mixer* pada aplikasi receiver bluetooth.

Gambar 3.1 Susunan rangkaian RF pada *WiMAX*.

Universitas Indonesia

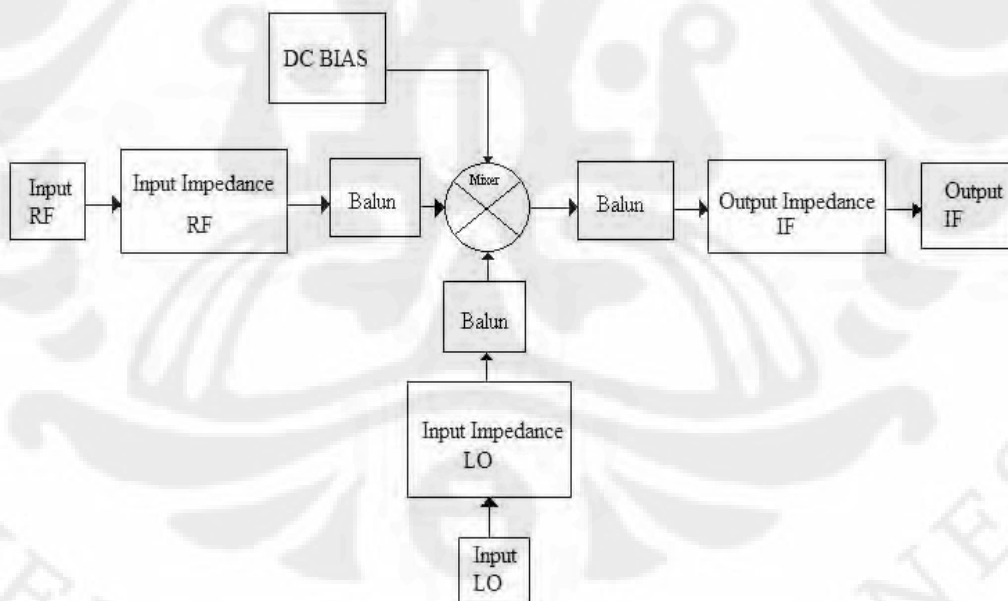
Gambar 3.1 menunjukkan susunan rangkaian pada bagian RF dari sistem WiMAX. Secara sederhana, rangkaian *mixer* ideal dapat digambarkan seperti pada Gambar 3.2



Gambar 3.2 Rangkaian *mixer* ideal.

Pada proses perancangan *mixer*, terdapat rangkaian-rangkaian penyusun *mixer* yang perlu diperhatikan. Seperti ditunjukkan pada Gambar 3.3, rangkaian tersebut dibagi menjadi beberapa bagian, yaitu:

- Inti *mixer*
- DC bias
- Input dan output matching
- Balun input dan output



Gambar 3.3 Rangkaian penyusun *mixer*.

Dari Gambar 3.3 menunjukkan *mixer* terdiri dari 3 buah port utama yaitu port RF (radio frequency), port LO (*local oscillator*), dan port IF (*intermediate frequency*) dimana port RF dan port LO merupakan inputan *mixer* dan port IF merupakan output dari *mixer*, *mixer* jenis ini sering disebut sebagai *mixer* down

Universitas Indonesia

converting karena akan terjadi pengkonversian frekuensi dari frekuensi tinggi pada RF menjadi frekuensi intermediate pada IF. Sedangkan bila port input dari *mixer* merupakan sinyal LO dan sinyal IF maka *mixer* ini disebut sebagai *mixer upconverting* karena terjadi penkonversian frekuensi dari frekuensi rendah menjadi frekuensi radio atau frekuensi RF.

### 3.1 INTI MIXER

Jenis *mixer* yang dipilih ialah topologi gilbert cell *mixer* dengan memakai transistor berjenis MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor). Divais MOSFET ini dipilih karena divais ini MOSFET cocok untuk bekerja di frekuensi yang tinggi. Dengan menggunakan divais MOSFET ini, *mixer* dapat dibuat dalam bentuk yang compact atau kecil, dan memiliki *conversion gain* yang bagus. MOSFET ini bertipe cmosn dengan parameter terlampir.

#### 3.1.1 Gilbert Cell Mixer

Terdapat dua tipe dari *mixer* seperti yang telah dijelaskan pada bab 2, yaitu *mixer* pasif dan *mixer* aktif. Umumnya tipe pasif memiliki *conversion loss* yang lebih tinggi dan *noise figure* yang tinggi pula dibandingkan dengan *mixer* aktif walaupun *mixer* pasif memiliki performa IM3 yang lebih baik.

Terdapat pula single balanced *mixer* dan double balanced *mixer*. Single balanced *mixer* memiliki struktur yang lebih sederhana namun memiliki performa yang kurang dalam *RF to IF* dan *LO to IF rejection* dibandingkan dengan double balanced *mixer*. Di bawah ini merupakan keuntungan dan kerugian dalam penggunaan double balanced *mixer* atau yang sering disebut gilbert cell *mixer*.

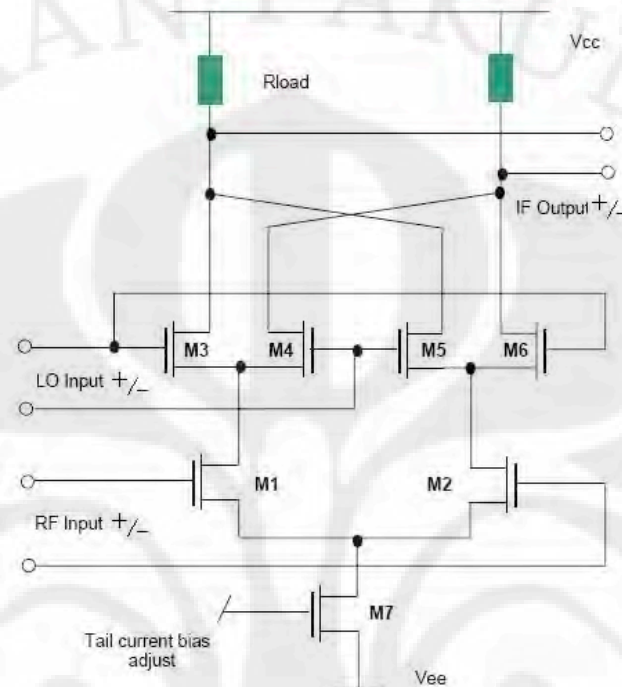
Keuntungan

- a. Menghasilkan LO dan RF rejection pada output IF dengan baik
- b. Setiap port pada *mixer* masing-masing terisolasi secara terpisah
- c. Linieritas yang lebih baik dibanding single balanced *mixer*
- d. Penekanan pada output gangguan
- e. Titik intersep yang baik



Kelemahan

- a. Port-port sangat sensitif terhadap terminasi reaktif
- b. Membutuhkan tingkat kendali LO yang lebih tinggi



Gambar 3.4 Rangkaian inti gilbert cell *mixer*. [8]

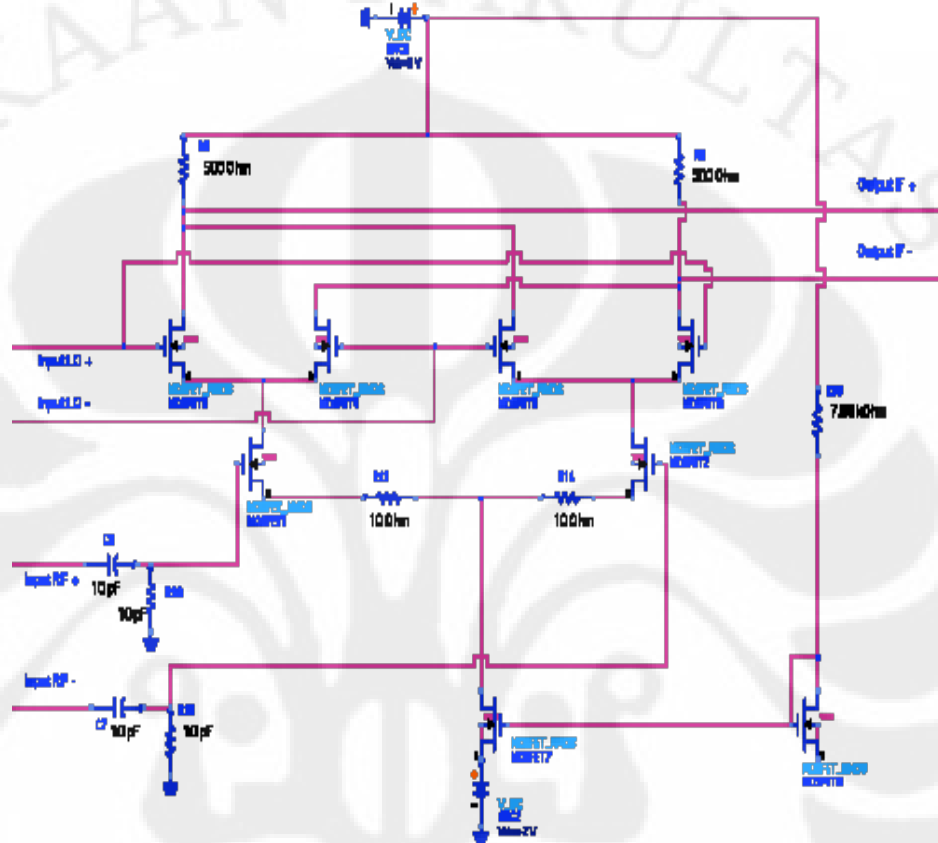
### 3.1.2 Cara kerja rangkaian gilbert cell *mixer*

*Mixer* ini memiliki input LO yang dibagi menjadi LO+ dan LO- serta input RF yang juga terbagi menjadi RF+ dan RF-. Sinyal RF akan masuk ke dalam transistor MOSFET1 dan MOSFET2 yang berfungsi sebagai divais *transconductance* yang akan mengkonversi tegangan menjadi arus, sedangkan MOSFET 3 hingga MOSFET6 akan membentuk fungsi perkalian antara arus sinyal RF dari MOSFET1 dan MOSFET2 dengan sinyal LO yang melewati MOSFET4 hingga MOSFET6 dimana MOSFET4 hingga MOSFET6 ini memberikan fungsi *switching*.

MOSFET1 dan MOSFET2 mengalirkan arus RF+/- dan MOSFET3 dan MOSFET6 menghubungkan keduanya untuk memberikan sinyal RF atau sinyal inverted RF ke beban bagian kiri. MOSFET4 dan MOSFET5 menghubungkan MOSFET1 dan MOSFET2 ke beban bagian kanan.

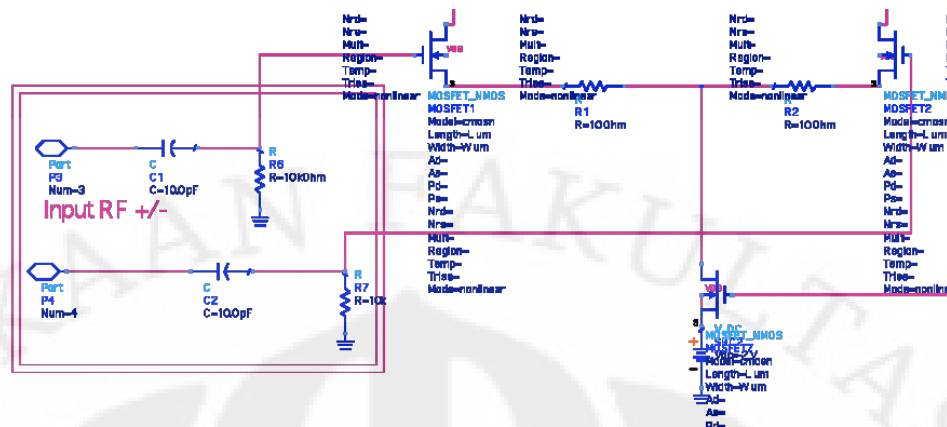
Dua resistor beban membentuk transformasi arus menjadi tegangan yang akan menghasilkan sinyal output IF differensial.

### 3.1.3 Proses rancangan inti *mixer*



Gambar 3.5 Rancangan rangkaian gilbert cell *mixer*.

Gambar 3.5 menunjukkan rancangan rangkaian gilbert cell mixer. Proses perancangan inti *mixer* dimulai dengan mendisain sesuai dengan rujukan disain gilbert cell *mixer* dimana *mixer* jenis ini disusun oleh 7 buah transistor utama, 4 transistor di bagian atas merupakan transistor *switching* yang memiliki masukan dari *local oscillator*, 2 transistor dibagian tengah yang memiliki masukan dari radio frequency dan 1 transistor dibagian bawah yang memiliki peranan dalam DC bias. Transistor yang digunakan pada disain *mixer* ini memiliki parameter-parameter yang telah ditentukan.



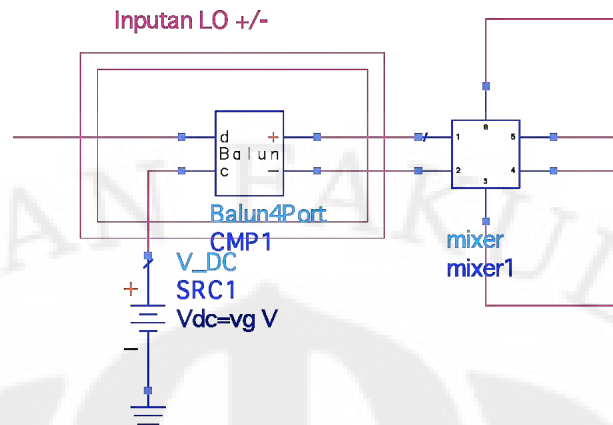
Gambar 3.6 Komponen pasif pada inputan RF.

Gambar 3.6 menunjukkan penggunaan komponen pasif pada input bagian RF, masing-masing inputan plus dan inputan minus akan melewati sebuah kapasitor tersusun seri dan resistor paralel. Komponen kapasitor ini berguna untuk mencegah arus DC mengalir ke bagian inputan RF, sedangkan komponen resistor yang di-ground-kan berguna untuk menahan sinyal-sinyal RF yang tidak diinginkan.

### 3.2 DC BIAS

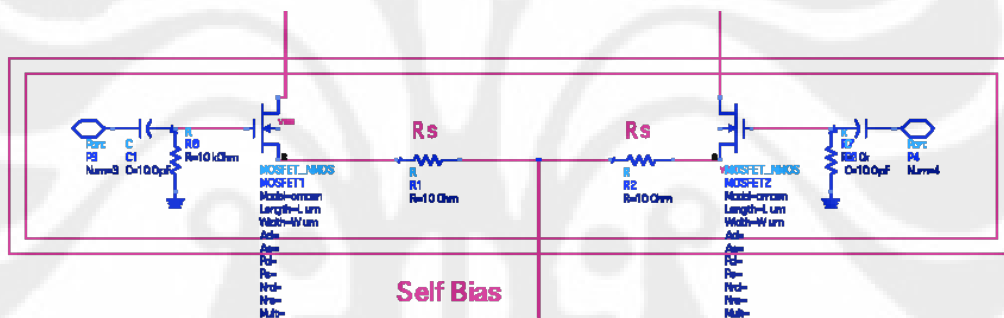
Pada perancangan gilbert cell *mixer* ini, digunakan tiga macam tipe rangkaian DC bias. Pada transistor-transistor MOSFET yang terhubung dengan inputan dari *local oscillator* digunakan tipe rangkaian fixed bias (bias tetap). Untuk transistor-transistor yang memiliki inputan dari RF, digunakan rangkaian bias bertipe self bias (bias sendiri) sedangkan pada transistor yang berada dibawah transistor-transistor RF digunakan rangkaian DC bias aktif.

Gate pada transistor-transistor MOSFET yang memiliki inputan dari *local oscillator* ini akan disuplai tegangan DC ( $V_g$ ) tetap sebesar 1 volt seperti ditunjukkan pada Gambar 3.7



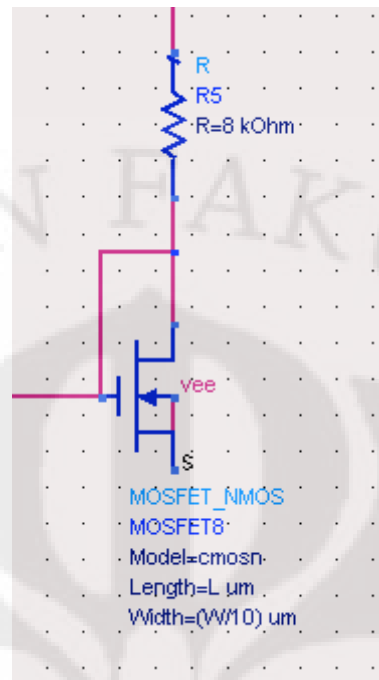
Gambar 3.7 Rangkaian bias tetap pada MOSFET dengan inputan LO.

Bias pada gate transistor-transistor MOSFET pada bagian RF bertipe bias sendiri dimana tegangan pada gate transistor akan ditentukan oleh hambatan pada source dari transistor seperti ditunjukkan pada Gambar 3.8



Gambar 3.8 Rangkaian bias tetap pada MOSFET dengan inputan RF.

Rangkaian DC bias aktif (Gambar 3.9) digunakan untuk mengatur arus yang akan mengalir pada transistor MOSFET yang berada pada bagian bawah transistor RF. Dengan bias aktif ini, gate pada transistor tersebut akan mendapat tegangan DC yang akan mempengaruhi besar kecilnya arus yang akan mengalir pada transistor tersebut.

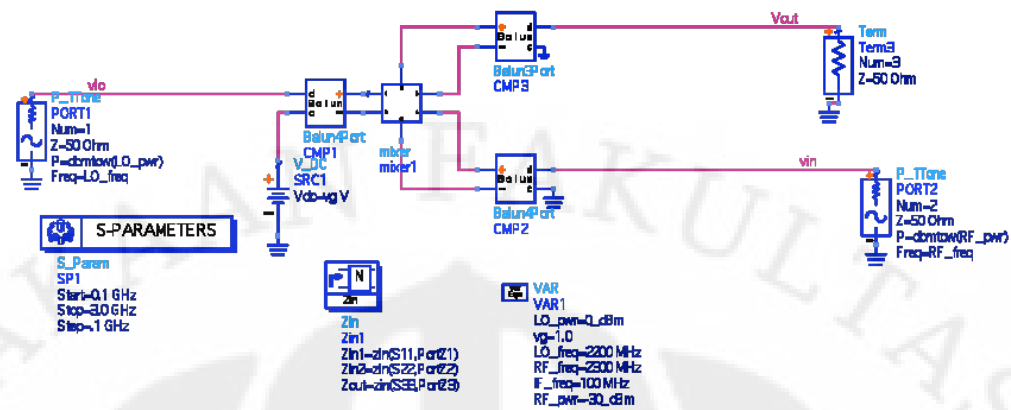


Gambar 3.9 Rangkaian dc bias aktif.

### 3.3 INPUT DAN OUTPUT IMPEDANCE MATCHING

Bagian penting dalam merancang disain RF ialah menyesuaikan satu bagian dari rangkaian terhadap bagian lainnya untuk menghasilkan aliran daya yang maksimal antara dua bagian tersebut. Dua bagian tersebut ialah bagian input dari rangkaian dan juga output dari rangkaian.

Untuk merancang impedance matching pada suatu rangkaian, dapat digunakan bantuan smith chart. Namun sebelum itu perlu untuk diketahui nilai dari beban pada masing-masing port seperti beban input pada *local oscillator*, beban input pada RF, dan beban output pada IF. Besarnya beban ini dapat diketahui dengan melakukan simulasi S-paramter pada rangkaian seperti ditunjukkan pada Gambar 3.10



Gambar 3.10 Simulasi S parameter pada rangkaian tanpa impedance matching.

Sehingga besarnya beban pada masing-masing port akan dapat diketahui seperti ditunjukkan pada Tabel 3.2

Tabel 3.2 Besar Input Dan Output Impedance Matching.

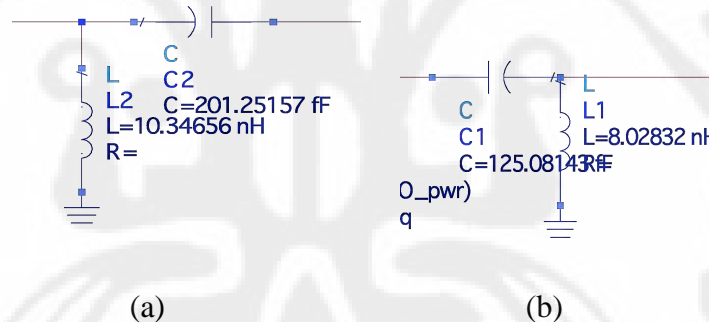
freq	Zin1	Zin2	Zout
100.0 MHz	2.786 - j3.015E3	1.454E3 - j5.465E3	758.067 - j61.570
200.0 MHz	2.786 - j1.507E3	402.680 - j2.879E3	743.331 - j120.726
300.0 MHz	2.786 - j1.005E3	194.815 - j1.939E3	720.015 - j175.359
400.0 MHz	2.786 - j753.627	121.012 - j1.459E3	689.747 - j223.894
500.0 MHz	2.786 - j602.902	86.660 - j1.170E3	654.408 - j265.394
600.0 MHz	2.786 - j502.419	67.944 - j975.695	615.886 - j299.538
700.0 MHz	2.786 - j430.645	56.637 - j836.974	575.877 - j326.519
800.0 MHz	2.786 - j376.815	49.284 - j732.825	535.781 - j346.888
900.0 MHz	2.786 - j334.947	44.234 - j651.775	496.660 - j361.408
1.000 GHz	2.786 - j301.453	40.614 - j586.917	459.258 - j370.925
1.100 GHz	2.786 - j274.048	37.929 - j533.849	424.043 - j376.285
1.200 GHz	2.786 - j251.211	35.879 - j489.629	391.265 - j378.272
1.300 GHz	2.786 - j231.888	34.277 - j452.220	361.015 - j377.581
1.400 GHz	2.786 - j215.325	33.000 - j420.164	333.268 - j374.804
1.500 GHz	2.786 - j200.970	31.963 - j392.392	307.928 - j370.440
1.600 GHz	2.786 - j188.410	31.107 - j368.102	284.854 - j364.892
1.700 GHz	2.786 - j177.327	30.392 - j346.680	263.879 - j358.489
1.800 GHz	2.786 - j167.476	29.786 - j327.648	244.832 - j351.491
1.900 GHz	2.786 - j158.662	29.266 - j310.629	227.539 - j344.102
2.000 GHz	2.786 - j150.729	28.816 - j295.320	211.834 - j336.483
2.100 GHz	2.786 - j143.552	28.422 - j281.479	197.562 - j328.756
2.200 GHz	2.786 - j137.027	28.075 - j268.904	184.581 - j321.016
2.300 GHz	2.786 - j131.070	27.765 - j257.431	172.758 - j313.333
2.400 GHz	2.786 - j125.609	27.487 - j246.921	161.978 - j305.761
2.500 GHz	2.786 - j120.585	27.236 - j237.259	152.132 - j298.338
2.600 GHz	2.786 - j115.948	27.006 - j228.347	143.127 - j291.092
2.700 GHz	2.786 - j111.654	26.796 - j220.102	134.877 - j284.041
2.800 GHz	2.786 - j107.667	26.601 - j212.452	127.307 - j277.197
2.900 GHz	2.786 - j103.954	26.421 - j205.335	120.349 - j270.567
3.000 GHz	2.786 - j100.490	26.252 - j198.698	113.943 - j264.155

Berdasarkan Tabel 3.2 Zin1 mewakili beban input LO, Zin2 mewakili beban pada RF, dan Zout merupakan beban output pada IF. Sehingga untuk masing-masing port memiliki beban yang ditunjukkan pada Tabel 3.3

Tabel 3.3 Besar Input Dan Output Impedance Matching Sesuai Frekuensi Kerjanya.

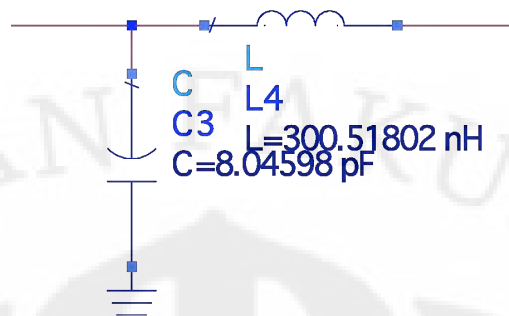
	Frekuensi	Besar beban (ohm)
Zin1 (LO)	2,2 GHz	$2,758 - j137,027$
Zin2 (RF)	2,3 GHz	$27,765 - j257,431$
Zout (IF)	100 MHz	$758,067 - j61,570$

Setelah mengetahui besarnya beban, dengan menggunakan smith chart rangkaian impedance matching dapat disesuaikan dengan kebutuhan. Dengan port-port yang terhubung dengan konektor 50 ohm, diusahakan agar rangkaian impedance matching ini dapat menyesuaikan dengan besarnya beban konektor 50 ohm sehingga daya yang mengalir pada masing-masing port tidak mengalami gangguan.



Gambar 3.11 Rangkaian input impedance pada (a)RF dan (b)LO.

Jenis impedance matching yang digunakan ialah rangkaian L yang tersusun atas satu induktor yang tersusun paralel pada salah satu bagian dan sebuah kapasitor yang dipasang seri dengan rangkaian, rangkaian ini bersifat high pass karena frekuensi pada masing-masing port yang tinggi dan selain itu dengan kapasitor yang tersusun seri dengan inputan maka kapasitor ini juga berguna sebagai penahan arus DC bias, untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 3.11.



Gambar 3.12 Rangkaian output impedance pada IF.

Gambar 3.12 merupakan rangkaian output impedance pada IF. Rangkaian impedance matching pada bagian IF digunakan tipe lowpass karena frekuensi output yang dihasilkan cukup kecil dibanding frekuensi-frekuensi inputan.

Dari rangkaian-rangkaian impedance matching di atas maka didapat nilai komponen-komponen *impedance matching* untuk masing-masing port seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.3 dan Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Nilai Komponen Input Impedance Matching.

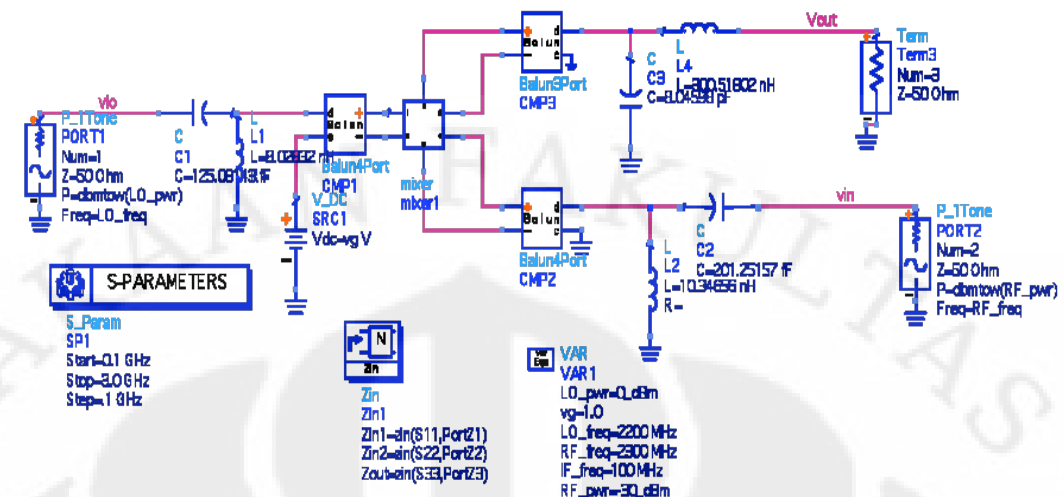
	Input impedance LO	Input impedance RF
Kapasitor seri	125,0814 fF	201,25157 fF
Induktor paralel	8,02832 nH	10.34656 nH

Tabel 3.5 Nilai Komponen Output Impedance Matching.

	Output impedance IF
Induktor	200,51802 nH
Kapasitor paralel	8,04598 pF

Dengan ini disain rangkaian *mixer* setelah dilakukan proses penyesuaian impedance matching dapat dilihat seperti Gambar 3.13

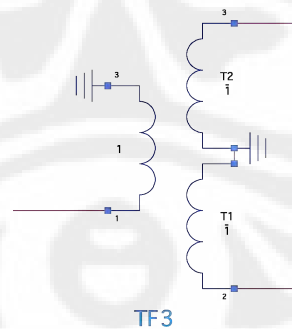




Gambar 3.13 Rangkaian *mixer* setelah dilakukan impedance matching.

### 3.4 BALUN

Balun digunakan untuk mentransformasi sebuah sinyal antara mode balanced dan unbalanced, jenis rangkaian balun yang dipakai dalam perancangan *mixer* ini ialah *wire wound transformer*. Kelebihan dari jenis balun ini ialah mampu bekerja hingga di atas 2 GHz serta apabila transformer ini di-ground-kan akan memberikan short-circuit pada sinyal mode genap (mode yang umum) serta tidak memberikan efek pada sinyal mode ganjil. Salah satu kekurangan dari balun ini ialah harganya yang lebih mahal dari tipe balun-balun lain.

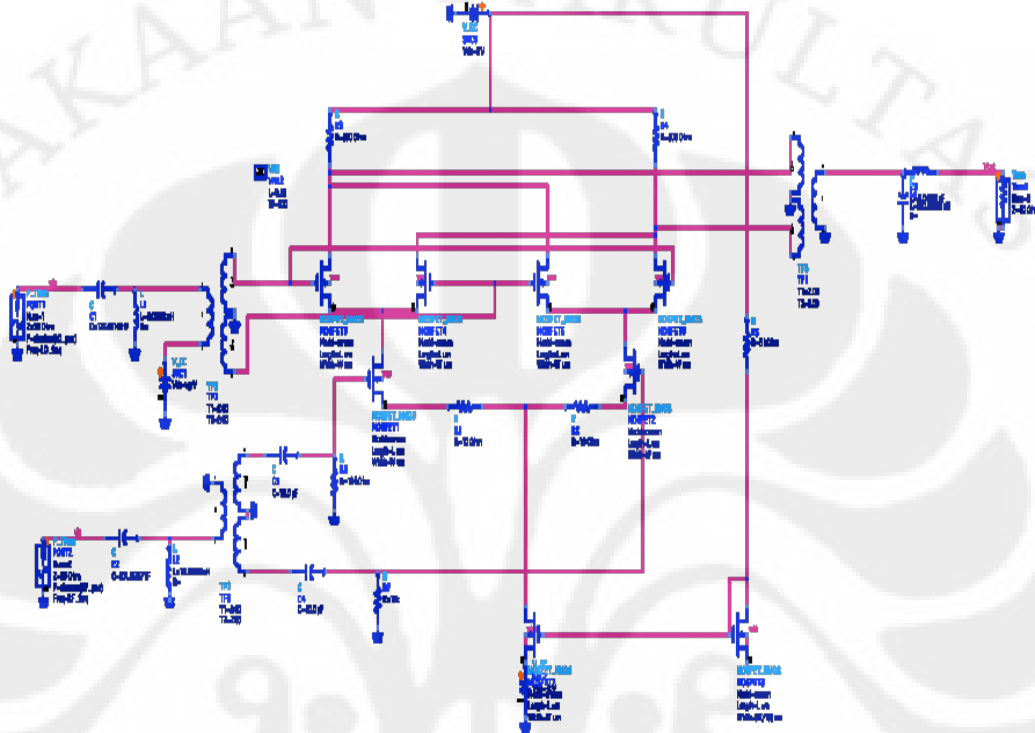


Gambar 3.14 Balun pada *mixer*.

Gambar 3.14 menunjukkan balun *wire wound transformer* yang digunakan pada rancangan *mixer*. Balun yang digunakan ini adalah balun yang terintegrasi langsung dengan software ADS sehingga menghasilkan keluaran yang ideal.

### 3.5 HASIL PERANCANGAN *MIXER*

Secara keseluruhan, perancangan *mixer* untuk sistem telekomunikasi *WiMAX* 2,3 GHz ini dapat ditunjukkan pada Gambar 3.15



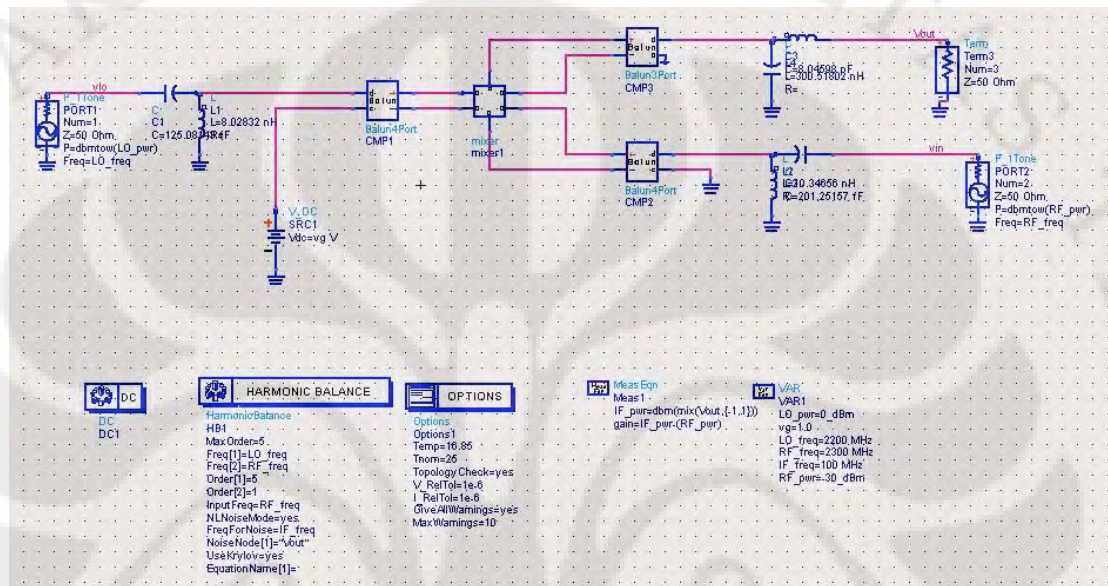
Gambar 3.15 Rangkaian *mixer* untuk *WiMAX* 2.3 GHz.

Rangkaian ini disuplai oleh tegangan DC sebesar 2 Volt dimana selain dipakai untuk mensuplai rangkaian inti *mixer*, tegangan DC ini juga dipakai untuk mensuplai rangkaian DC bias. Pada transistor-transistor LO, gate pada masing-masing transistor disuplai tegangan DC sebesar 1 Volt yang berbeda dengan tegangan DC rangkaian utama.

## BAB 4

### HASIL SIMULASI DAN ANALISA

#### 4.1 RANGKAIAN GILBERT CELL MIXER



Gambar 4.1 Rancangan rangkaian gilbert cell mixer.

Pada Gambar 4.1 dapat dilihat rancangan rangkaian mixer yang akan digunakan dalam simulasi. Rancangan mixer ini akan disimulasikan dengan parameter-parameter yang dibutuhkan oleh mixer agar dapat beroperasi sebagai pencampur gelombang. Parameter-parameter yang akan digunakan dalam menjalankan simulasi tersebut ialah sebagai berikut:

- Radio frequency (RF)
- Frekuensi local oscillator (LO)
- Intermediate frequency (IF)
- Daya radio frequency (RF)
- Daya local oscillator (LO)

## 4.2 SIMULASI CONVERSION GAIN DAN NOISE FIGURE

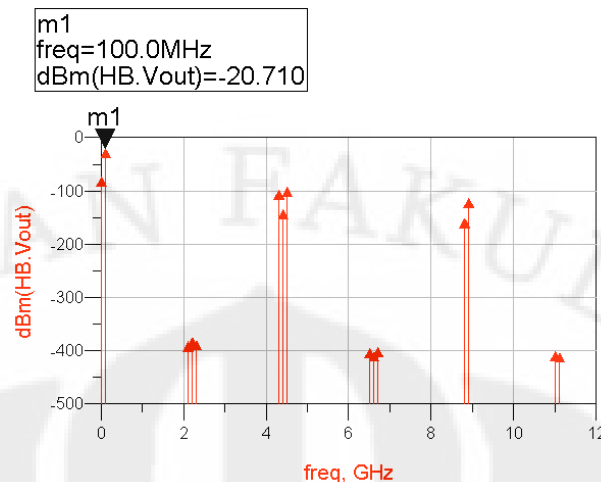
Pada awal simulasi ini parameter-parameter tetap yang digunakan ialah sebagai berikut:

- a. *Radio frequency* (RF) : 2,3 GHz
- b. Frekuensi *local oscillator* (LO) : 2,2 GHz
- c. *Intermediate frequency* (IF) : 100 MHz
- d. Daya *radio frequency* (RF) : -30 dBm
- e. Daya *local oscillator* (LO) : 5 dBm

Input yang digunakan pada awal percobaan ini berasal dari keluaran LNA dan keluaran *local oscillator*. Diasumsikan daya keluaran dari LNA adalah -30 dBm dengan frekuensi 2,3 GHz dan daya keluaran *local oscillator* sebesar 10 dBm. Dengan simulasi ini akan dilihat besarnya penguatan atau penurunan daya setelah terjadinya proses pencampuran frekuensi antara bagian LNA (RF) dan bagian *local oscillator*. Tujuan dari spesifikasi awal rangkaian *mixer* ini adalah setelah proses pencampuran frekuensi ini akan terjadi penguatan daya pada bagian *intermediate frequency* sekitar 8 dB. Sesuai dengan teori *conversion gain* bahwa

$$\text{Conversion Gain} = \text{daya IF} - \text{daya RF} \quad (4.1)$$

Hal ini berarti dengan daya inputan RF sebesar -30 dBm dan besarnya *conversion gain* sekitar 8 dB, maka menurut perhitungan akan dihasilkan daya pada *intermediate frequency* sekitar -22 dBm.



Gambar 4.2 Spektrum IF dan daya yang dihasilkan pada frekuensi 100MHz.

Berdasarkan hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 4.2 yang merupakan daya yang dihasilkan Vout dari bagian IF pada masing-masing frekuensinya. Pada frekuensi 100 MHz didapat daya yang dihasilkan adalah sebesar -20,71 dBm sehingga besarnya conversion gain dari rancangan *mixer* ini adalah

$$\begin{aligned} \text{Conversion gain} &= \text{daya IF} - \text{daya RF} \\ &= -20,71 - (-30) \\ &= 9,29 \text{ dB} \end{aligned}$$

Dengan besarnya conversion gain 9,29 dB, rancangan *mixer* ini dapat menghasilkan conversion gain di atas spesifikasi yang diinginkan yaitu lebih besar dari 8 dB. Berdasarkan simulasi dapat dilihat juga besarnya noise figure yang terjadi pada rancangan rangkaian *mixer* ini seperti ditunjukkan pada Tabel 4.1

Tabel 4.1 Noise Figure Pada Rancangan Mixer.

noisetfreq	NFdsb	NFssb
100.0 MHz	4.617	7.681

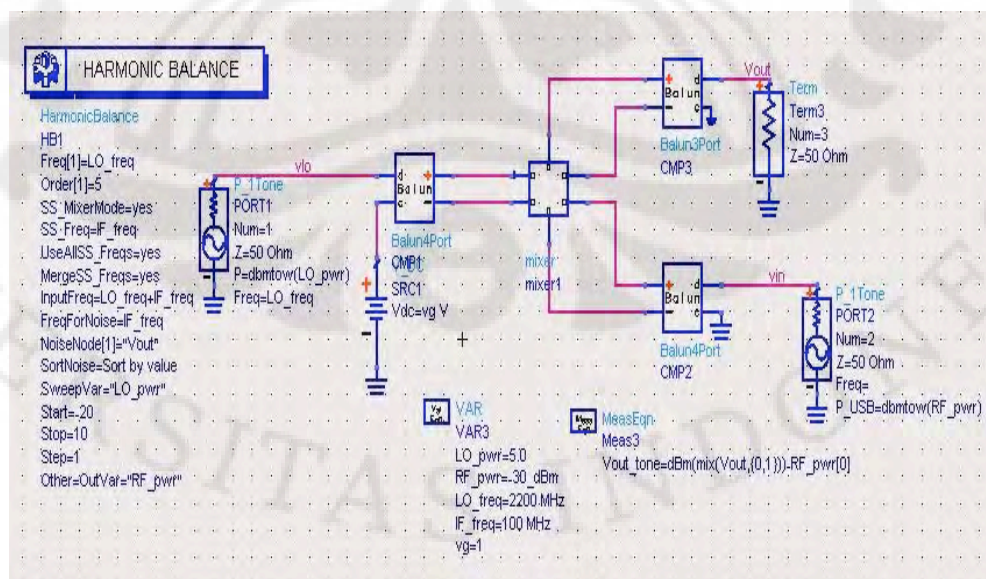
Noise figure yang didapat pada hasil simulasi dibagi menjadi 2, yaitu noise figure *single sideband* (NFssb) dan noise figure *double sideband* (NFdsb). Noise figure merupakan perbandingan antara SNR (signal to noise ration) pada input dengan NSR output, besarnya NFdsb lebih jelek sekitar 3 dB dari NFssb dikarenakan pada NFdsb dihitung selain carrier pada IF juga dihitung carrier dari *image frequency*.

Berdasarkan hasil simulasi NFdsb ini bernilai 4,617 dB lebih jelek sekitar 3 dB dari NFssb yang bernilai 7,681 dB. Berdasarkan spesifikasi yang ingin dicapai bahwa noise figure yang menjadi pertimbangan adalah NFdsb dengan nilai kurang dari 10 dB maka NFdsb rancangan *mixer* ini yang bernilai 4,617 dB ini sudah melebihi spesifikasi yang diinginkan.

### 4.3 SIMULASI PENGARUH PERUBAHAN DAYA LOCAL OSCILLATOR TERHADAP NOISE FIGURE DAN GAIN

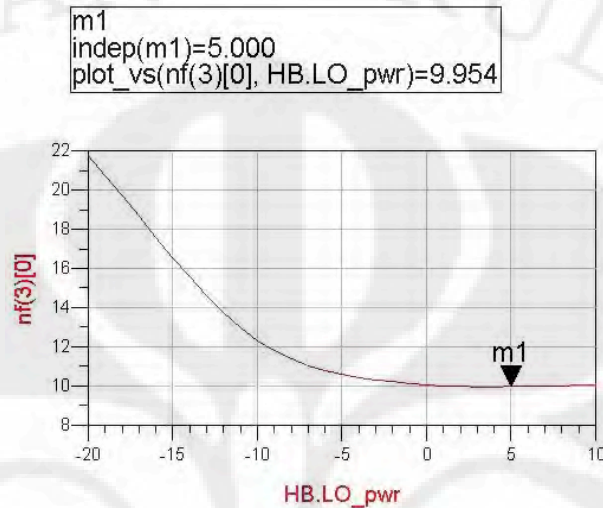
Pada simulasi ke dua ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perubahan daya pada *local oscillator* terhadap noise figure rangkaian *mixer* serta pengaruh pada besarnya gain yang akan dihasilkan rangkaian *mixer* ketika perubahan daya yang terjadi pada *local oscillator*. Dengan ini maka akan diketahui besarnya daya optimal *local oscillator* yang dapat diberikan ke rangkaian *mixer* seperti ditunjukkan pada Gambar 4.3. Parameter-parameter rangkaian *mixer* yang bernilai tetap pada simulasi ke dua ini adalah sebagai berikut:

- a. Frekuensi *local oscillator* (LO) : 2,2 GHz
- b. *Intermediate frequency* (IF) : 100 MHz
- c. Daya *radio frequency* (RF) : -30 dBm



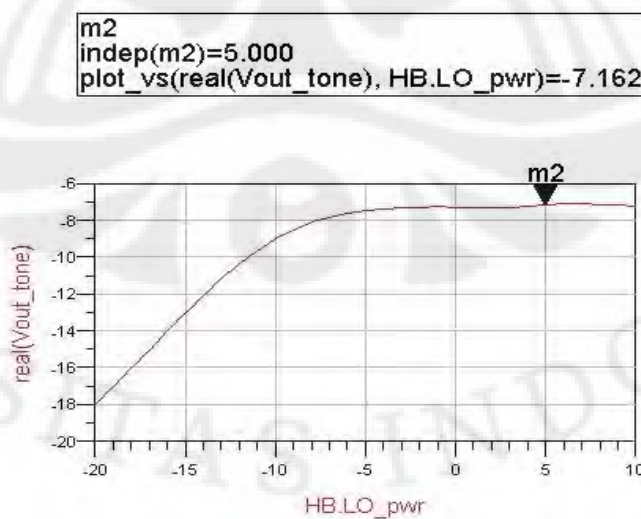
Gambar 4.3 Simulasi pengaruh daya LO terhadap NF dan Gain.

Dengan simulasi ini, besarnya daya *local oscillator* divariasikan dari -20 dBm hingga 10 dBm dengan tingkat perubahan daya sebesar 1 dBm sehingga dengan variasi daya input *local oscillator* ini akan dilihat pengaruh perubahan daya tersebut terhadap gain serta noise figure rancangan *mixer*.



Gambar 4.4 Grafik daya LO vs NF.

Pada hasil simulasi yang ditunjukkan pada Gambar 4.4 dan Gambar 4.5 terlihat bahwa ketika terjadi perubahan daya *local oscillator* baik noise figure maupun gain rangkaian *mixer* akan mengalami perubahan. Dengan semakin besarnya daya *local oscillator* noise figure akan semakin menurun seperti terlihat pada grafik namun ketika daya *local oscillator* lebih besar dari 0 dBm, noise figure yang dihasilkan relatif stabil.



Gambar 4.5 Grafik daya LO vs gain.

Gambar 4.5 menunjukkan pengaruh kenaikan daya *local oscillator* terhadap  $V_{out\_tone}$  dimana  $V_{out\_tone}$  ini merepresentasikan gain yang dihasilkan ketika perubahan daya *local oscillator* terjadi. Besarnya daya *local oscillator* yang optimal untuk menghasilkan gain yang baik berkisar dari -2 dBm hingga 7 dBm artinya untuk menghasilkan gain *mixer* yang optimal maka daya keluaran *local oscillator* yang merupakan input bagi *mixer* ini diusahakan berada pada kisaran tersebut. Dengan melihat pengaruh perubahan daya *local oscillator* terhadap noise figure dan gain dari *mixer* maka untuk mengetahui daya *local oscillator* yang optimal perlu dibandingkan antara pengaruh *local oscillator* terhadap gain serta noise figure dari *mixer*.

Tabel 4.2 Tabel Perbandingan Daya LO Terhadap Noise Figure Dan Gain.

Daya LO(dBm)	Noise Figure (dB)	Gain (dB)
-20	21.763	-18.052
-19	20.721	-17.039
-18	19.676	-16.026
-17	18.63	-15.019
-16	17.59	-14.021
-15	16.564	-13.041
-14	15.568	-12.093
-13	14.622	-11.193
-12	13.751	-10.364
-11	12.977	-9.627
-10	12.317	-9
-9	11.778	-8.491
-8	11.351	-8.096
-7	11.022	-7.803
-6	10.771	-7.594
-5	10.577	-7.45
-4	10.424	-7.355
-3	10.301	-7.298
-2	10.199	-7.272
-1	10.114	-7.268
0	10.045	-7.283
1	9.992	-7.304
2	9.957	-7.316
3	9.94	-7.297
4	9.941	-7.238
5	9.954	-7.162
6	9.972	-7.113
7	9.993	-7.109
8	10.013	-7.131
9	10.03	-7.165
10	10.026	-7.25



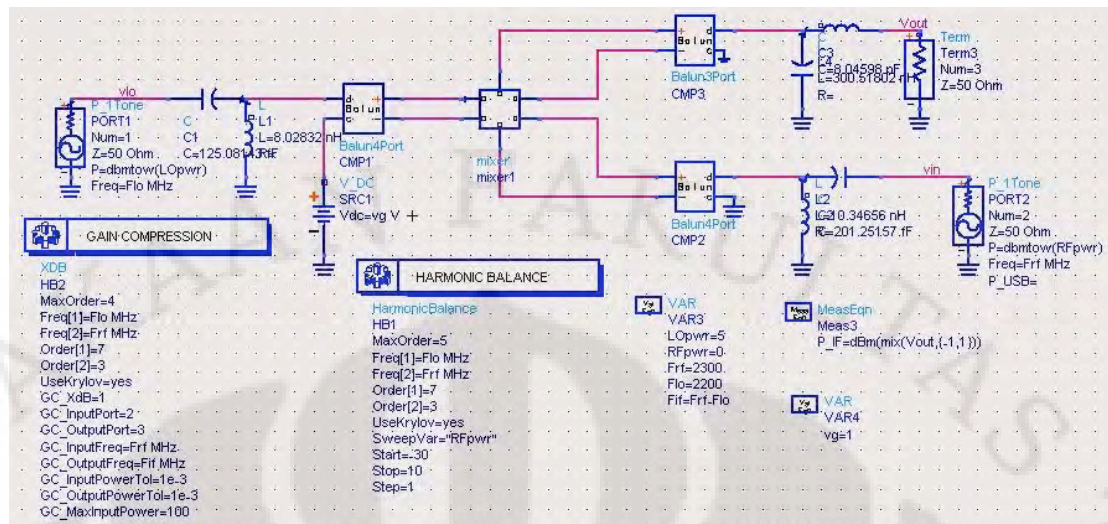
Berdasarkan Tabel 4.2, gain yang dihasilkan oleh *mixer* menjadi minus, hal ini disebabkan karena pada proses simulasi ini rangkaian *mixer* tidak menggunakan rangkaian impedance matching, hasil gain yang minus ini dikarenakan besar impedansi beban tidak sesuai dengan impedansi port output sehingga gain yang terjadi adalah penurunan daya keluaran. Namun bila dilihat pada Tabel 4.2, ketika daya *local oscillator* ini semakin meningkat maka gain yang dihasilkan akan semakin positif dan gain akan mencapai puncaknya dan relatif stabil ketika berada pada kisaran -5dBm hingga 10 dBm, sehingga diusahakan daya keluaran *local oscillator* yang menjadi input bagi *mixer* ini agar berada pada kisaran tersebut. Tingginya daya *local oscillator* ini merupakan dampak bagi penggunaan tipe gilbert cell *mixer* yang membutuhkan daya *local oscillator* yang tinggi.

#### 4.4 SIMULASI PENGARUH PERUBAHAN DAYA INPUT RADIO FREQUENCY TERHADAP COMPRESSION GAIN

Simulasi ke tiga ini memiliki tujuan untuk mengetahui karakteristik gain compression pada *mixer* perubahan gain pada *mixer* terhadap variasi daya pada radio frequency yang merupakan hasil dari penguatan pada bagian LNA. Compression gain ini terjadi ketika gain yang dihasilkan oleh *mixer* ini bertambah 1dB gain.

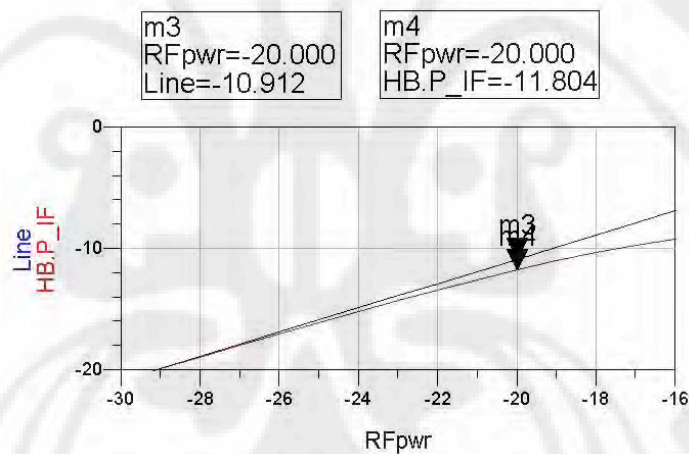
Paramater-parameter rangkaian *mixer* yang bernilai tetap pada simulasi ke tiga ini adalah sebagai berikut:

- a. *Radio frequency* (RF) : 2,3 GHz
- b. Frekuensi *local oscillator* (LO) : 2,2 GHz
- c. *Intermediate frequency* (IF) : 100 MHz
- d. Daya *local oscillator* (LO) : 5 dBm



Gambar 4.6 Simulasi pengaruh daya RF terhadap compression gain.

Daya pada bagian RF akan divariasikan besarnya mulai dari -30 dbm hingga 10 dbm dengan perubahan 1 dbm sehingga dapat dilihat karakteristik gain compression dari rancangan rangkaian *mixer* ini.



Gambar 4.7 Compression gain.

Pada Gambar 4.7, ketika daya masukan RF sebesar -20 dbm, line yang merepresentasikan output daya keluaran *mixer* dengan suatu gain yang tetap ini bernilai -10.912 dbm (tanda m3). Namun daya output yang sebenarnya keluar dari *mixer* telah turun sekitar 1 dB yaitu -11.804 dbm (tanda m4). Hal ini terjadi dikarenakan pada *mixer* terjadi saturasi sehingga gain yang dihasilkan pada *mixer* tidak maksimal dan tidak lagi linier. Ketika terjadinya penurunan 1 dB inilah yang dinamakan titik compression gain.

Output Gain Comp[0]	inpwr[0]
-11.268	-19.356

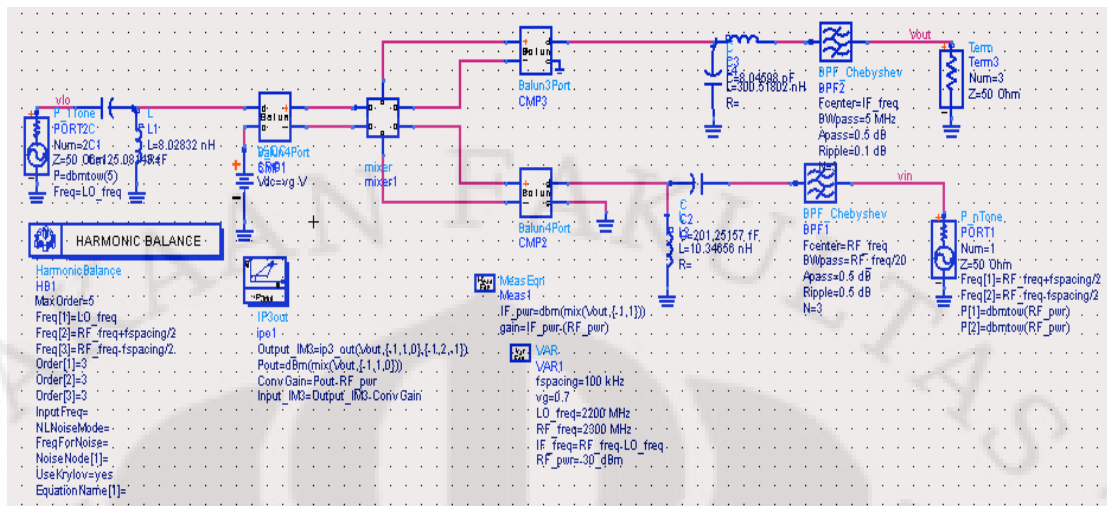
Gambar 4.8 Besar compression gain melalui simulasi.

Dengan menggunakan simulasi, dapat diketahui pada daya input berapa gain compression akan terjadi serta berapa daya output yang dihasilkan. Gain compression pada rangkaian akan terjadi ketika daya masukan RF (inpwr) bernilai -19.356 dbm dengan daya output yang dihasilkan adalah -11.268 dbm. Nilai daya input dan output ketika gain compression ini terjadi mirip dengan nilai daya input dan output yang ditunjukkan pada Gambar 4.8 dimana sesuai Gambar 4.9 gain compression terjadi ketika daya input RF -20 dbm dan daya output sebesar -11.804 dbm. Dengan ini, ketika daya input RF telah melebihi titik gain compression, daya output yang dikeluarkan hanya akan mengalami sedikit karena gain yang dihasilkan tidak akan linier sebab *mixer* telah dalam kondisi saturasi.

#### 4.5 SIMULASI INPUT INTERCEPT POINT ORDE 3

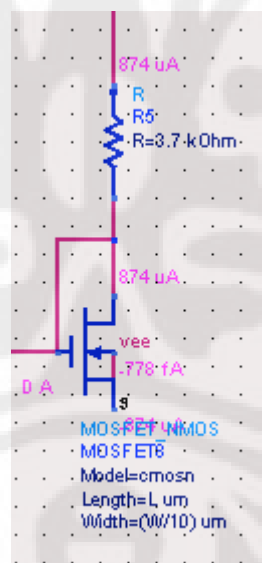
Simulasi ke empat ini dilakukan untuk mengetahui input intercept point orde 3 dari rancangan *mixer* ini. Simulasi ini memiliki parameter-parameter tetap sebagai berikut:

- a. *Radio frequency* (RF) : 2,3 GHz
- b. Frekuensi *local oscillator* (LO) : 2,2 GHz
- c. *Intermediate frequency* (IF) : 100 MHz
- d. Daya *local oscillator* (LO) : 5 dBm
- e. Vg (tegangan bias LO) : 0.7 volt



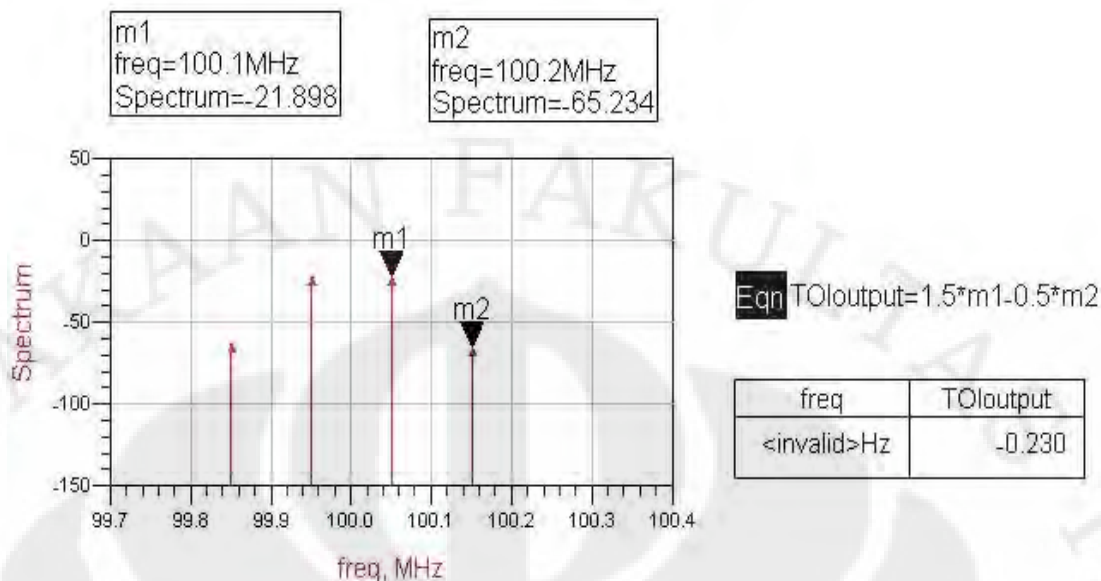
Gambar 4.9 Simulasi input intercept point orde 3.

Gambar 4.9 menunjukkan simulasi yang digunakan untuk mengetahui IIP3 rancangan rangkaian mixer. Tegangan bias transistor-transistor MOSFET pada bagian *switching* (LO) diberi nilai sebesar 0.7 volt selain itu arus bias pada rangkaian inti *mixer* ini juga dinaikkan menjadi sekitar 9 mA agar memberikan linieritas yang lebih baik untuk rangkaian *mixer*.



Gambar 4.10 Resistor DC bias aktif.

Untuk menaikkan arus bias ini dilakukan dengan menurunkan nilai resistor dari 8 kOhm menjadi 3.7 kOhm pada rangkaian DC bias aktif sehingga dapat memberikan nilai arus yang diinginkan.



Gambar 4.11 Spektrum sekitar frekuensi IF.

TOIoutput merupakan intermodulation output orde 3 dari rangkaian *mixer*. Hasil TOI ini didapatkan dengan menggunakan rumus manual untuk mencari TOI dari rangkaian *mixer*, besar dari TOI ini adalah -0.23 dbm.

freq	Input IM3	Output IM3
<invalid>Hz	-8.332	-0.230

freq	ConvGain
100.1 MHz	8.102

Gambar 4.12 Hasil simulasi IIP3.

Dengan menggunakan simulasi secara otomatis bisa didapatkan output dari TOI rangkaian *mixer* ini. Output TOI atau output IM3 ini didapat sebesar -0.23 dbm sama seperti dengan menghitung secara manual. Pada simulasi ini, Conversion gain yang terjadi dengan parameter-parameter tetap seperti disebutkan sebelumnya didapat senilai 8.102 dB.

Input IM3 merupakan parameter yang digunakan sebagai spesifikasi dari rangkaian *mixer*. Idealnya, input IM3 yang terjadi adalah sekitar 10 dB lebih besar di atas nilai gain compression. Jadi, dengan menggunakan nilai gain compression dari simulasi sebelumnya seharusnya input IM3 ini beada pada kisaran -1.804 dbm (~10 dB + -11.804 dbm).

Namun pada rangkaian, input IM3 ini bernilai -8.332 dbm, hal ini terjadi disebabkan adanya loss pada rangkaian impedance matching yang membuat input IM3 ini belum memenuhi keidealan input IM3 yang seharusnya.



## BAB 5

### KESIMPULAN

Dari pembahasan pada bab-bab sebelumnya dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

- Gilbert Cell Mixer yang dirancang ini telah memenuhi spesifikasi yang diinginkan, seperti conversion gain dan noise figure
- Gain yang dihasilkan oleh rancangan mixer ini adalah 9,29 dB dengan noise figure DSB sebesar 4,617 dB
- Mixer ini memiliki kinerja yang baik ketika daya local oscillator berada antara -5 hingga 10 dBm
- Mixer yang dirancang memiliki linearitas yang kurang baik, hal ini disebabkan loss yang terjadi pada output matching
- Impedance Matching diperlukan dalam perancangan disain mixer untuk mencegah terjadinya rugi-rugi daya.
- DC bias merupakan rangkaian yang dirancang untuk menjaga kestabilan dari transistor-transistor pada rangkaian inti mixer.
- Balun jenis wire wound transformer dipilih untuk mentransformasikan sinyal balanced dengan unbalanced karena mampu bekerja hingga frekuensi di atas 2 GHz

## DAFTAR ACUAN

- [1] Pozar, David.M., “Microwave and RF Design of Wireless Systems”, John Wiley & Sons, Inc., USA, 2001.
- [2] Ghulam Mehdi, “Highly Linear *Mixer* for On-Chip RF Test in 130nm CMOS”, 2007.
- [3] Vizmuller, Peter., “RF Design Guide: Systems, Circuits, and Equations”, Artceh House, Norwood, 1995.
- [4] Aswan Hamonangan, “Transistor FET - JFET dan MOSFET”, <http://www.electronyclab.com/>
- [5] Universiti Malaysia Pahang, ”FET Small Signal Analysis”, Universiti Malaysia Pahang
- [6] Gonzales, Guillermo, “Microwave Transistor Amplifier Analysis and Design”, Prentice Hall, 1997.
- [7] “Impedance Matching”, Wiharta.
- [8] J P Silver, “Gilbert Cell *Mixer* Design Tutorial”, [www.rfic.co.uk](http://www.rfic.co.uk)



## DAFTAR PUSTAKA

A. S. Allen., “Advanced RFIC Design, Gilbert Cell Mixer”, 2004

Bonghyuk Park, Kyung Ai Lee, Songcheol Hong, and Sangsung Choi “A 3.1 to 5 GHz CMOS Transceiver for DS-UWB Systems”, ETRI Journal, 2007

Davis, W. Alan., Agawal, Krishna., “Radio Frequency Circuit Design”, John Wiley & Sons, Inc., USA, 2001.

Leenaerts, D., Tang Johan.V.D., Vaucher C.S., “Circuit Design for RF Transceivers”, Kluwer Academic Publishers, Boston, 2001.

Liam Devlin, “*Mixers*” Pletex Communication Technology Consultants, Essex

J. Y. Lyu and Z. M. Lin, “A 2~11 GHz Direct-Conversion *Mixer* for *WiMAX* Applications”, IEEE, 2007.

Xiaoqin Sheng, “RF Mixer Design for Zero IF Wi-Fi Receiver in CMOS”, 2005

Z. C. Su, Z. M. Lin, and J. Y. Lyu, “A High Conversion Gain *Mixer* with Active Balun for UWB and *WiMAX* Systems”

## Lampiran 1 : Parameter MOSFET cmosn

; Translated with ADS Netlist Translator (\*) 270.500 Sep 22 2004

model cmosn MOSFET Version=3.1 Tnom=27 Tox=4.1e-9 Xj=1e-7 Nch=2.3549e17  
Vth0=0.3725327 K1=0.5933684 \

K2=2.050755e-3 K3=1e-3 K3b=4.5116437 W0=1e-7 Nlx=1.870758e-7 Dvt0w=0  
Dvt1w=0 Dvt2w=0 \

Dvt0=1.3621338 Dvt1=0.3845146 Dvt2=0.0577255 U0=259.5304169 Ua=-  
1.413292e-9 Ub=2.229959e-18 \

Uc=4.525942e-11 Vsat=9.411671e4 A0=1.7572867 Ags=0.3740333 B0=-7.087476e-  
9 B1=-1e-7 \

Keta=-4.331915e-3 A1=0 A2=1 Rdsw=111.886044 Prwg=0.5 Prwb=-0.2 Wr=1  
Wint=0 Lint=1.701524e-8 \

Xl=0 Xw=-1e-8 Dwg=-1.365589e-8 Dw=1.045599e-8 Voff=-0.0927546  
Nfactor=2.4494296 Cit=0 \

Cdsc=2.4e-4 Cdscd=0 Cdscb=0 Eta0=3.175457e-3 Etab=3.494694e-5  
Dsub=0.0175288 Pclm=0.7273497 \

Pdiblc1=0.1886574 Pdiblc2=2.617136e-3 Pdiblc3=-0.1 DROUT=0.7779462  
Pscbe1=3.488238e10 \

Pscbe2=6.841553e-10 Pvag=0.0162206 Delta=0.01 Rsh=6.5 Mobmod=1 Prt=0 Ute=-  
1.5 Kt1=-0.11 \

Kt11=0 Kt2=0.022 Ua1=4.31e-9 Ub1=-7.61e-18 Uc1=-5.6e-11 At=3.3e4 WI=0  
Wln=1 Ww=0 Wwn=1 \

Wwl=0 Ll=0 Lln=1 Lw=0 Lwn=1 Lwl=0 Capmod=2 Xpart=0.5 Cgdo=8.53e-10  
Cgso=8.53e-10 Cgbo=1e-12 \

Cj=9.513993e-4 Pb=0.8 Mj=0.3773625 Cjsw=2.600853e-10 Pbsw=0.8157101  
Mjsw=0.1004233 \

Cjswg=3.3e-10 Pbswg=0.8157101 Mjswg=0.1004233 Cf=0 NMOS=1 PMOS=0  
Idsm=8 Js=0 Vbm=-3.0 \

Em=4.1e7 Pvth0=-8.863347e-4 Prdsw=-3.6877287 Pk2=3.730349e-4  
Wketa=6.284186e-3 Lketa=-0.0106193 \

Pu0=16.6114107 Pua=6.572846e-11 Pub=0 Pvsat=1.112243e3 Peta0=1.002968e-4  
Pketa=-2.906037e-3;

Universitas Indonesia

(Lanjutan)

```

model cmosp MOSFET Version=3.1 Tnom=27 Tox=4.1e-9 Xj=1e-7 Nch=4.1589e17
Vth0=-0.3948389 \

K1=0.5763529 K2=0.0289236 K3=0 K3b=13.8420955 W0=1e-6 Nlx=1.337719e-7
Dvt0w=0 Dvt1w=0 \

Dvt2w=0 Dvt0=0.5281977 Dvt1=0.2185978 Dvt2=0.1 U0=109.9762536
Ua=1.325075e-9 Ub=1.577494e-21 \

Uc=-1e-10 Vsat=1.910164e5 A0=1.7233027 Ags=0.3631032 B0=2.336565e-7
B1=5.517259e-7 \

Keta=0.0217218 A1=0.3935816 A2=0.401311 Rdsw=252.7123939 Prwg=0.5
Prwb=0.0158894 Wr=1 \

Wint=0 Lint=2.718137e-8 Xl=0 Xw=-1e-8 Dwg=-4.363993e-8 Dwb=8.876273e-10
Voff=-0.0942201 \

Nfactor=2 Cit=0 Cdsc=2.4e-4 Cdscd=0 Cdscb=0 Eta0=0.2091053 Etab=-0.1097233
Dsub=1.2513945 \

Pclm=2.1999615 Pdiblc1=1.238047e-3 Pdiblc2=0.0402861 Pdiblc3=-1e-3 DROUT=0
Pscbe1=1.034924e10 \

Pscbe2=2.991339e-9 Pvag=15 Delta=0.01 Rsh=7.5 Mobmod=1 Prt=0 Ute=-1.5 Kt1=-
0.11 Kt1l=0 \

Kt2=0.022 Ua1=4.31e-9 Ub1=-7.61e-18 Uc1=-5.6e-11 At=3.3e4 Wl=0 Wln=1
Ww=0 Wwn=1 Wwl=0 \

Ll=0 Lln=1 Lw=0 Lwn=1 Lwl=0 Capmod=2 Xpart=0.5 Cgdo=6.28e-10 Cgso=6.28e-
10 Cgbo=1e-12 \

Cj=1.160855e-3 Pb=0.8484374 Mj=0.4079216 Cjsw=2.306564e-10 Pbsw=0.842712
Mjsw=0.3673317 \

Cjswg=4.22e-10 Pbswg=0.842712 Mjswg=0.3673317 Cf=0 PMOS=1 NMOS=0
Idsmod=8 Js=0 Vbm=-3.0 \

Em=4.1e7 Noia=9.9e18 Noib=2.4e3 Noic=1.4e-12 Pvth0=2.619929e-3
Prdsw=1.0634509 Pk2=1.940657e-3 \

Wketa=0.0355444 Lketa=-3.037019e-3 Pu0=-1.0227548 Pua=-4.36707e-11 Pub=1e-
21 Pvsat=-50 \

Peta0=1e-4 Pketa=-5.167295e-3;

```

Universitas Indonesia

Lampiran 2 : Rangkaian rancangan mixer

