



UNIVERSITAS INDONESIA

**PERANCANGAN *MEMS MIXER-FILTER* UNTUK SISTEM
KOMUNIKASI *RECEIVER MOBILE WIMAX* PADA
FREKUENSI 2,3 GHz**

TESIS

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar magister teknik

**YUDI YANUAR
0806424806**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
DEPOK
JUNI 2010**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PERANCANGAN *MEMS MIXER-FILTER* UNTUK SISTEM
KOMUNIKASI *RECEIVER MOBILE WIMAX* PADA
FREKUENSI 2,3 GHz**

TESIS

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar magister teknik

**YUDI YANUAR
0806424806**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
KEKHUSUSAN TEKNIK TELEKOMUNIKASI
DEPOK
JUNI 2010**

Universitas Indonesia

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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



Nama : Yudi Yanuar
NPM : 0806424806
Tanda Tangan :
Tanggal : 8 Juli 2010

HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh

Nama : Yudi Yanuar
NPM : 0806424806
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Tesis : **Perancangan *MEMS Mixer-Filter* untuk Sistem
Komunikasi *Receiver Mobile WiMAX* pada Frekuensi
2,3 GHz**

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. Agus Santoso Tamsir, MT ()

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

Penguji : Prof. Dr. Ir. Harry Sudibyo, DEA ()

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

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 8 Juli 2010

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur hanyalah kepada Allah SWT karena atas petunjuk dan berkat-Nya maka tesis ini dapat terselesaikan. Penulisan tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat mencapai gelar Magister Teknik Program Studi Teknik Elektro, Kekhususan Teknik Telekomunikasi, pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Penulis menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan tesis ini, sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan tesis ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Dr. Ir. Agus Santoso Tamsir, MT, selaku dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi pengarahan, diskusi, dan bimbingan serta persetujuan sehingga tesis ini dapat selesai dengan baik.
2. Ir. Gunawan Wibisono, M.Sc., Ph.D, selaku dosen yang juga memberikan banyak masukan terhadap penulisan tesis ini.
3. Prof. Dr. Burhanuddin Yeop Majlis dari *Institute of Microengineering and Nanoelectronics* – Universiti Kebangsaan Malaysia, atas bantuannya dalam MEMS simulator untuk menyelesaikan tesis ini.
4. Orang tua dan saudara yang selalu mendukung dan mendoakan penulis dalam penulisan tesis ini.
5. Teman-teman dari Teknik Elektro UI yang memberikan dukungan dalam penyelesaian tesis ini.
6. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang juga memberikan dukungan dalam penyelesaian tesis ini.

Akhir kata, apapun hasil yang dicapai merupakan perwujudan kerja keras penulis. Semoga tesis ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, Juni 2010

Penulis

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

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

Nama : Yudi Yanuar
NPM : 0806424806
Program Studi : Teknik Elektro
Departemen : Elektro
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Tesis

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 MEMS Mixer-Filter untuk Sistem Komunikasi Receiver 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 mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : Juni 2010
Yang menyatakan

(Yudi Yanuar)

ABSTRAK

Nama : Yudi Yanuar
Program Studi : Teknik Elektro
Judul : Perancangan *MEMS Mixer-Filter* untuk Sistem Komunikasi *Receiver Mobile WiMAX* pada Frekuensi 2,3 GHz

Perkembangan teknologi akses nirkabel berkembang secara pesat untuk memenuhi tuntutan pengguna yang membutuhkan komunikasi dengan kecepatan tinggi, kapasitas besar (broadband) dan mobilitas yang tinggi. Salah satu teknologi yang dihasilkan adalah *WiMAX (Worldwide interoperability for Microwave Access)* yang berdasarkan standar IEEE 802.16. Di Indonesia sistem komunikasi *mobile WiMAX* ini bekerja pada spektrum frekuensi 2.3 GHz sesuai dengan keputusan Menteri Komunikasi dan Informasi Republik Indonesia. Untuk mengantisipasi perkembangan trend *WiMAX* di Indonesia, kami mencoba untuk melakukan riset yang fokus pada perangkat *RF (Radio Frequency)* yaitu *mixer-filter* dengan menggunakan teknologi *RF-MEMS* yang naik daun sejak akhir abad 20. *MEMS mixer-filter* terdiri atas dua buah *clamped resonator* yang masing-masing mempunyai frekuensi *center* dan terhubung dengan sebuah batang (*bar*). Resonator pertama berfungsi sebagai *mixer* dan kedua sebagai *filter*, dimana mempunyai *selective low-loss filtering* yang tinggi. Kedua *resonator* dan *coupling bar* dirancang dengan menggunakan dua buah material yang bertumpuk, yaitu *polysilicon* dan *zinc oxide* untuk mendapatkan frekuensi yang tinggi. *Mixer-filter* ini dapat mengkonversikan frekuensi *RF (Radio Frequency)* 2,3 GHz dan frekuensi *LO (Local Oscillator)* sebesar 2,2 GHz menjadi frekuensi *IF (Intermediate Frequency)* sebesar 99,69 MHz yang mempunyai bandwidth 4,3 MHz.

Kata Kunci :
MEMS, Radio Frequency, Intermediate Frequency, bandwidth, electromechanical coupling, resonator.

ABSTRACT

Name : Yudi Yanuar
Study Program : Electrical Engineering
Title : Design of MEMS Mixer-Filter for 2.3 GHz Receiver Mobile
WiMAX Communication System

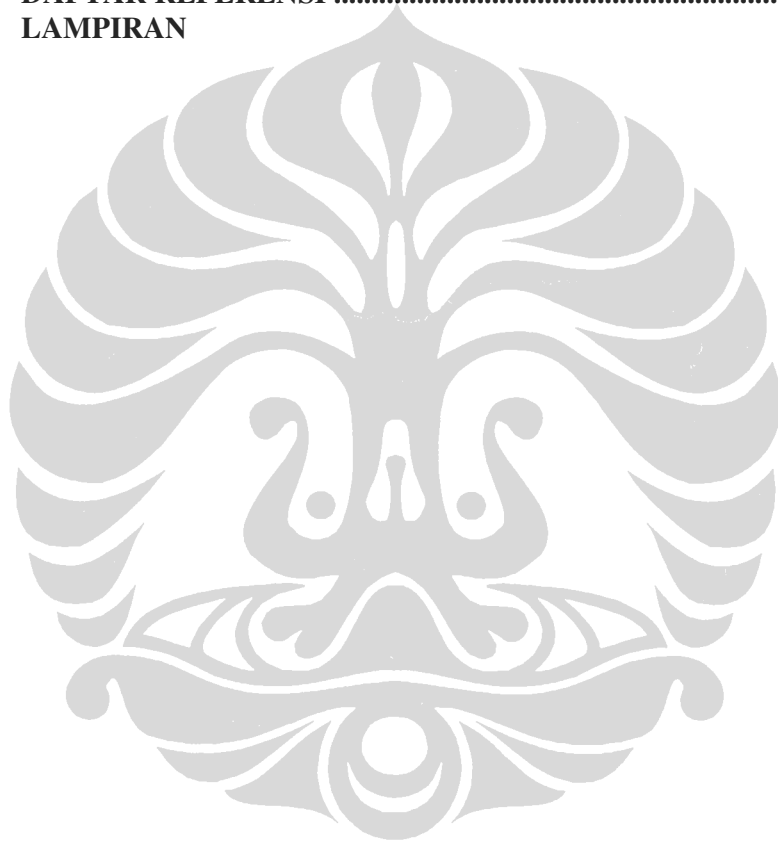
The development of wireless access technology has rapidly evolved to meet the demands of users who require high-speed communications, large capacity (broadband) and high mobility. One of the resulting technology is WiMAX (Worldwide interoperability for Microwave Access) is based on the IEEE 802.16 standard. In Indonesia, the WiMAX mobile communication system is working on 2.3 GHz frequency spectrum. In accordance with the decision of the Minister of Communications and Information - Republic of Indonesia. To anticipate the trend growth of WiMAX in Indonesia, we are trying to do research that focuses on the device RF (radio frequency) i.e. a mixer-filter using RF-MEMS technology that has been booming since last 20th century. Mixer-filter MEMS consists of two clamped resonator each have a center frequency and is connected to a rod (bar). The first resonator functions as a mixer and the second as a filter, which has a selective filtering of low-loss high. Both resonator and coupling bar designed by using two overlapping material, i.e poly-silicon, and zinc oxide to obtain high IF (intermediate frequency). Mixer-filter can down-convert the RF frequency of 2.3 GHz and LO frequency of 2.2 GHz to IF frequency of 99.69 MHz which has a bandwidth of 4.3 MHz.

Keywords:
MEMS, Radio Frequency, Bandwidth, Intermediate frequency, electromechanical coupling, resonator.

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Halaman Pernyataan Orisinalitas	ii
Halaman Pengesahan	iii
Kata Pengantar	iv
Halaman Pernyataan Persetujuan Publikasi Karya Ilmiah	v
Abstrak	vi
Abstrac	vii
Daftar Isi	viii
Daftar Gambar	x
Daftar Tabel	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan	4
1.3 Tujuan Penulisan	4
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Metode Penelitian	5
1.6 Sistematika Penulisan	6
BAB 2 TINJAUAN PERANCANGAN MEMS MIXER-FILTER	7
2.1 Pendahuluan	7
2.2 <i>Micromechanical Mixer-Filters</i>	7
2.3 CMOS-MEMS <i>Downconversion Mixer-Filter</i>	13
BAB 3 MEMS RESONATOR	17
3.1 MEMS (<i>Micro Electro-Mechanical System</i>)	17
3.2 Dasar MEMS	18
3.2.1 Koefisien Redaman (<i>c</i>)	20
3.2.2 Konstanta Pegas pada Batang Sederhana	20
3.2.3 <i>Pull-in Voltage</i>	22
3.3 <i>Resonator</i> Balok (<i>Resonator Beams</i>)	22
3.4 <i>Resonator</i> Gandeng (<i>Coupled Resonator</i>)	24
3.5 Piezoelektrik	26
3.6 <i>Mixer</i>	29
3.7 <i>Filter</i>	31
BAB 4 PERANCANGAN MEMS MIXER-FILTER	34
4.1 Tahapan Implementasi	34
4.2 Spesifikasi MEMS <i>Mixer-Filter</i>	34
4.3 Perancangan dan Simulasi MEMS <i>Mixer-Filter</i>	35
4.3.1 Panjang dan Lebar Resonator	40
4.3.2 Letak <i>Coupling</i> pada <i>Resonator</i>	41
4.3.3 Panjang dan Lebar <i>Coupling</i>	42
4.3.4 Rancangan Sementara	44
4.3.5 Material <i>Resonator</i> dan <i>Coupling</i>	45

4.4 Kinerja Rancangan	49
BAB 5 HASIL PERANCANGAN DAN ANALISIS	50
5.1 Parameter Perancangan Dimensi <i>Micromechanical Mixer-filter</i> .	50
5.2 Analisis Hasil Simulasi	50
5.2.1 Frekuensi IF	51
5.2.2 <i>Bandwidth</i>	51
5.2.3 Persentase <i>Filter Bandwidth</i>	52
5.2.4 <i>Shape Factor</i>	52
BAB 6 KESIMPULAN	54
DAFTAR REFERENSI	55
LAMPIRAN	



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Blok diagram dari sistem RF WiMAX	1
Gambar 1.2	Rancangan MEMS <i>mixer-filter</i>	3
Gambar 2.1	<i>Micromechanical mixer-filter</i> I (a) skema <i>mixer-filter</i> (b) desain MEMS	8
Gambar 2.2	Dimensi <i>micromechanical mixer-filter</i> I	9
Gambar 2.3	Grafik frekuensi <i>micromechanical mixer-filter</i> I	9
Gambar 2.4	<i>Micromechanical mixer-filter</i> II	10
Gambar 2.5	Grafik frekuensi <i>micromechanical mixer-filter</i> II	12
Gambar 2.6	(a) CMOS -MEMS <i>downconversion mixer-filter</i> (b) CMOS-MEMS dalam pengukuran	13
Gambar 2.7	(a) Sistem pengukuran <i>gain</i> untuk f_{LO} dimulai dari 100 hingga 300 MHz dengan $V_{LO} = 1.4$ V, $V_{DCout+} = 10$ V, $V_{DCout-} = V_{bias} = 1.65$ V. (b) Distribusi <i>gain</i> antara blok-blok sistem	15
Gambar 3.1	Sistem getaran massa pegas	19
Gambar 3.2	Sistem getaran massa pegas <i>dashpot</i>	19
Gambar 3.3	Variasi bentuk batang dengan beban terpusat dan menyebar ..	21
Gambar 3.4	Akuator elektrostatik	22
Gambar 3.5	Ilustrasi sebuah <i>resonator</i> balok dan sebuah tipikal sirkuit untuk mengukur sinyal	23
Gambar 3.6	<i>Scanning elektron mikroskop</i> dari permukaan <i>polysilicon micro-machined bandpass filter</i>	24
Gambar 3.7	Ilustrasi <i>resonator</i> yang identik	25
Gambar 3.8	Dampak tegangan listrik pada material piezoelektrik	27
Gambar 3.9	Penyebaran muatan listrik dari kristal piezoelektrik	27
Gambar 3.10	<i>Transverse Effect, Longitudinal Effect & Shear effect</i>	28
Gambar 3.11	Dua mode konversi piezoelektrik dari masukan tekanan mekanis	28
Gambar 3.12	<i>Mixer</i>	29
Gambar 3.13	Blok diagram <i>filter</i>	31
Gambar 3.14	Respon <i>filter</i> yang sempurna	31
Gambar 3.15	Respon <i>filter</i> dalam prakteknya	32
Gambar 4.1	Tahapan implementasi	34
Gambar 4.2	Rancangan <i>micromechanical mixer-filter</i>	36
Gambar 4.3	Kondisi <i>fixed</i> pada <i>resonator</i> (a) tampak atas (b) tampak samping	38
Gambar 4.4	<i>Resonator</i> yang beresonansi	38
Gambar 4.5	Contoh grafik <i>displacement-z</i> terhadap frekuensi	39
Gambar 4.6	Grafik frekuensi terhadap perubahan pada panjang <i>resonator</i> sedangkan lebar = 8 μm , tinggi = 2,1 μm , dan <i>gap resonator</i> = 0,033 μm tetap	40
Gambar 4.7	Grafik frekuensi terhadap perubahan pada lebar <i>resonator</i> sedangkan panjang = 18,8 μm , tinggi = 2,1 μm , dan <i>gap resonator</i> = 0,033 μm tetap	41

Gambar 4.8	Grafik frekuensi terhadap perubahan pada letak <i>coupling</i> sedangkan panjang = 18,8 μm , lebar = 8 μm , tinggi = 2,1 μm , dan <i>gap resonator</i> = 0,033 μm tetap	42
Gambar 4.9	Grafik frekuensi terhadap perubahan pada panjang <i>coupling</i> sedangkan panjang = 18,8 μm , lebar = 8 μm , tinggi = 2,1 μm , dan <i>gap resonator</i> = 0,033 μm tetap	43
Gambar 4.10	Grafik frekuensi terhadap perubahan pada lebar <i>coupling</i> sedangkan panjang = 18,8 μm , lebar = 8 μm , tinggi = 2,1 μm , dan <i>gap resonator</i> = 0,033 μm tetap	43
Gambar 4.11	Rancangan MEMS <i>mixer-filter</i> dengan penambahan <i>zinc oxide</i> di atas <i>poly-silicon</i> (a) Rancangan keseluruhan (b) bagian yang ditambahkan <i>zinc oxide</i>	45
Gambar 4.12	Perubahan tinggi <i>resonator</i> terhadap frekuensi dengan panjang <i>resonator</i> = 28,8 μm (a) tinggi $h_{\text{poly-si}}$ tetap dan tinggi h_{ZnO} bervariasi (b) tinggi h_{ZnO} tetap dan tinggi $h_{\text{poly-si}}$ bervariasi	47
Gambar 4.13	Perubahan ketinggian <i>resonator</i> dan <i>coupling bar</i> dengan panjang resonator = 30,8 μm dengan tinggi $h_{\text{poly-si}}$ tetap dan tinggi h_{ZnO} bervariasi	48
Gambar 4.14	Perubahan ketinggian <i>resonator</i> dan <i>coupling bar</i> dengan panjang resonator = 30,8 μm dengan tinggi $h_{\text{poly-si}}$ bervariasi dan tinggi h_{ZnO} tetap	48
Gambar 5.1	Grafik frekuensi resonansi terhadap <i>displacement z</i> dengan -3 dB down pada perancangan MEMS <i>mixer-filter</i>	51
Gambar 5.2	Grafik frekuensi resonansi terhadap <i>displacement z</i> untuk pengukuran <i>shape factor</i> pada perancangan MEMS <i>mixer-filter</i>	52

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Penetapan blok frekuensi untuk keperluan layanan pita lebar nirkabel (wireless broadband) pada pita frekuensi radio 2.3 GHz	1
Tabel 2.1	Dimensi <i>micromechanical mixer-filter</i> I	8
Tabel 2.2	Data evaluasi <i>micromechanical mixer-filter</i> I	10
Tabel 2.3	Dimensi <i>micromechanical mixer-filter</i> II	11
Tabel 2.4	Hasil perancangan <i>mixer-filter</i> II	12
Tabel 2.5	Dimensi dari <i>mixer-filter</i> yang telah diuji, l_c : panjang <i>cantilever</i> , l_e : panjang <i>electrode</i> , w_c : lebar <i>cantilever</i> , w_e : lebar <i>electrode</i> , g : <i>transducer gaps</i>	15
Tabel 2.6	Hasil perancangan CMOS-MEMS <i>downconversion mixer</i>	16
Tabel 3.1	Rumus perpindahan pada variasi batang dengan beban terpusat ..	21
Tabel 3.2	Rumus perpindahan pada variasi batang dengan beban menyebar..	21
Tabel 4.1	Spesifikasi <i>mixer-filter receiver</i> WiMAX	35
Tabel 4.2	Material <i>poly-silicon</i>	37
Tabel 4.3	Rancangan awal <i>micromechanical mixer-filter</i>	44
Tabel 5.1	Parameter hasil perancangan dimensi μ - <i>mechanical mixer-filter</i> ...	50
Tabel 5.2	Hasil lengkap perancangan <i>mixer-filter</i>	53

