



UNIVERSITAS INDONESIA

**PERANCANGAN MEMS RESONATOR PIEZOELEKTRIK
BERBENTUK CINCIN PERSEGI MODE KONTUR SEBAGAI
OSILATOR WIMAX FREKUENSI 2,3 GHz**

TESIS

**SUNARYO
0806424680**

**PROGRAM PASCASARJANA
FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
DEPOK, JULI 2010**

UNIVERSITAS INDONESIA



UNIVERSITAS INDONESIA

**PERANCANGAN MEMS RESONATOR PIEZOELEKTRIK
BERBENTUK CINCIN PERSEGI MODE KONTUR SEBAGAI
OSILATOR WIMAX FREKUENSI 2,3 GHZ**

TESIS

Diajukan sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Master Teknik

SUNARYO

0806424680

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
DEPOK
JULI 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 : Sunaryo

NPM : 0806424680

Tanda Tangan : 

Tanggal : 18 Juli 2010

HALAMAN PENGESAHAN

Thesis ini diajukan oleh

Nama : Sunaryo
NPM : 0806424680
Program Studi : Teknik Elektro kekhususan Teknik Telekomunikasi
Judul Tesis : Perancangan MEMS resonator piezoelektrik berbentuk cincin persegi mode kontur sebagai osilator WiMAX 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, M.T
Penguji : Prof. Dr. Ir. Eko Tjipto Rahardjo, MSc.
Penguji : Prof. Dr. Ir. Harry Sudibyo, DEA
Penguji : Ir. Gunawan Wibisono, M.Sc. Ph.D



Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 8 Juli 2010

KATA PENGANTAR

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

- 1 Dr. Ir Agus Santoso Tamsir, M.T, selaku dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk memberikan pengarahan, diskusi, dan bimbingan serta persetujuan penulisan seminar ini.
- 2 Ir. Gunawan Wibisono, M.Sc., Ph.D, yang telah memberikan ide dan banyak masukan terhadap penulisan seminar ini.
- 3 Prof.Dr. Burhanuddin Yeop Majlis dari *Institute of Microengineering and Nanoelectronics*-Universitas Kebangsaan Malaysia, atas bantuannya dalam MEMS simulator untuk menyelesaikan seminar ini.
- 4 Seluruh keluarga dan Institusi Polri yang selalu mendukung baik moral maupun material dalam penulisan seminar ini.
- 5 Teman-teman S2 Teknik Elektro UI, khususnya kelompok bimbingan MEMS yang memberikan dukungan dalam penyelesaian seminar ini.
- 6 Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang juga memberikan dukungan dalam penyelesaian seminar ini.

Akhir kata, semoga Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu demi kelancaran penulisan seminar ini. Semoga tulisan ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, Juli 2010

Penulis

UNIVERSITAS INDONESIA

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

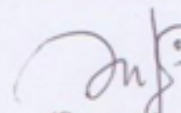
Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Sunaryo
NPM : 0806424680
Program Studi : Teknik Elektro-Kekhususan Teknik Telekomunikasi
Departemen : Teknik 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 Resonator Piezoelektrik berbentuk cincin persegi mode kontur sebagai osilator WiMAX frekuensi 2,3 GHz", beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmediakan/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mem-publikasikan tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 8 Juli 2010
Yang menyatakan


(Sunaryo)

ABSTRAK

Nama : Sunaryo
Program Studi : S-2 Teknik Elektro
Judul : Perancangan MEMS Resonator Piezoelektrik berbentuk cincin persegi mode kontur sebagai osilator WiMAX frekuensi 2.3 GHz.

Keunggulan teknologi WiMAX dibandingkan dengan teknologi yang sudah ada adalah kemampuan cakupan sinyal yang lebih luas. Seiring dengan percepatan pembangunan teknologi telekomunikasi, komponen dan perangkat juga hadir untuk melengkapi kisi desain sistem telekomunikasi yang cenderung relatif kecil dengan konsumsi daya rendah. Salah satu teknologi yang saat ini sedang berkembang pesat adalah micro-electronic and mechanical system (MEMS).

Dalam sistem telekomunikasi, osilator yang mempunyai fungsi untuk membangkitkan gelombang RF sebagai masukan modul mixer yang selanjutnya dilakukan pencampuran dengan sinyal RF untuk menghasilkan sinyal IF, oleh karenanya kestabilan osilator sangat menentukan performansi transmitter maupun receiver pada perangkat WiMAX, sehingga memerlukan pemilihan teknologi resonator yang mempunyai sifat relatif stabil. Teknologi osilator yang sering digunakan saat ini ada berbagai jenis antara lain Osilator LC, Osilator Hartley, Osilator Colpitts dan Osilator MEMS yang didalamnya ada kandungan material piezoelektrik.

Hasil desain osilator berbasis MEMS dengan menggunakan bentuk geometris cincin-persegi dan struktur material menggunakan piezoelektrik ZnO yang diapit oleh kedua elektroda Polysilicon. Dari hasil simulasi, frekuensi 2,3 GHz dapat terpenuhi dengan menggunakan dimensi sekitar $90 \mu\text{m} \times 12 \mu\text{m} \times 1 \mu\text{m}$. Dengan membuat lubang kecil di sisi horizontal cincin dapat meningkatkan frekuensi resonansi berkisar antara 23-96 MHz dengan dimensi yang sama dengan yang tidak berlubang. Ketebalan optimum bahan untuk memproduksi frekuensi resonansi sebesar 2,3 GHz dicapai dengan menggunakan variasi ketebalan bahan piezoelektrik (ZnO) $1,085 \mu\text{m}$ dan kedua elektroda Polysilicon $0,110 \mu\text{m}$, dan faktor kualitas Q yang dihasilkan berkisar 950 pada bandwidth 3 dB down sebesar 2,42105 MHz dan lebar bandwidth operasional yang dihasilkan oleh resonator ini sekitar 3 Mhz serta return loss (S11) sekitar -57 dB.

Kata kunci : Piezoelektrik, ZnO, osilator, cincin persegi

ABSTRACT

Name : Sunaryo
Studies Programm : S-2 Teknik Elektro
Title : Design of Square-ring shaped Contour-mode Piezoelectric MEMS Resonators for Oscillator WiMAX frequency 2.3 GHz.

The advantages of WiMAX compared to existing technologies is the ability to signal a broader coverage area. Along with the accelerated development of telecommunications technology, components and devices were also present to complement the lattice design of telecommunications systems which tend to be relatively small with low power consumption. One technology that is currently emerging is the micro-electronic and mechanical systems (MEMS).

In telecommunications systems, oscillators which have a function to generate the RF wave as the input mixer module and then make the mixing with the RF signals to generate IF signal, thereby determining the stability of the oscillator is the transmitter and receiver performance of WiMAX devices, thus requiring the selection of technology that has the properties of the resonator relatively stable. Oscillator technology that is often used when there are various types such as LC Oscillator, Hartley Oscillator, Colpitts Oscillator and Oscillator in which existing MEMS piezoelectric material content.

Results of design MEMS-based oscillator using square-ring shaped geometric and structures using piezoelectric ZnO material is sandwiched between two polysilicon electrodes. From the simulation results, the frequency of 2.3 GHz can be accomplished using the dimensions of about $90\ \mu\text{m} \times 12\ \mu\text{m} \times 1\ \mu\text{m}$. By making a small hole in the side of a horizontal ring can increase the resonance frequency ranging from 23-96 MHz with the same dimensions that are not perforated. The thickness of the material to produce optimum resonance frequency of 2.3 GHz is achieved by using a variation of the thickness of piezoelectric material (ZnO) $1.085\ \mu\text{m}$ and $0.110\ \mu\text{m}$ both polysilicon electrode, and the resulting quality factor Q about 950 at 3 dB down bandwidth of 2.42105 MHz and operational bandwidth generated by the resonator is approximately 3 MHz and the return loss (S11) of approximately -57 dB.

Keywords : Piezoelectric, ZnO, oscillator, square ring.

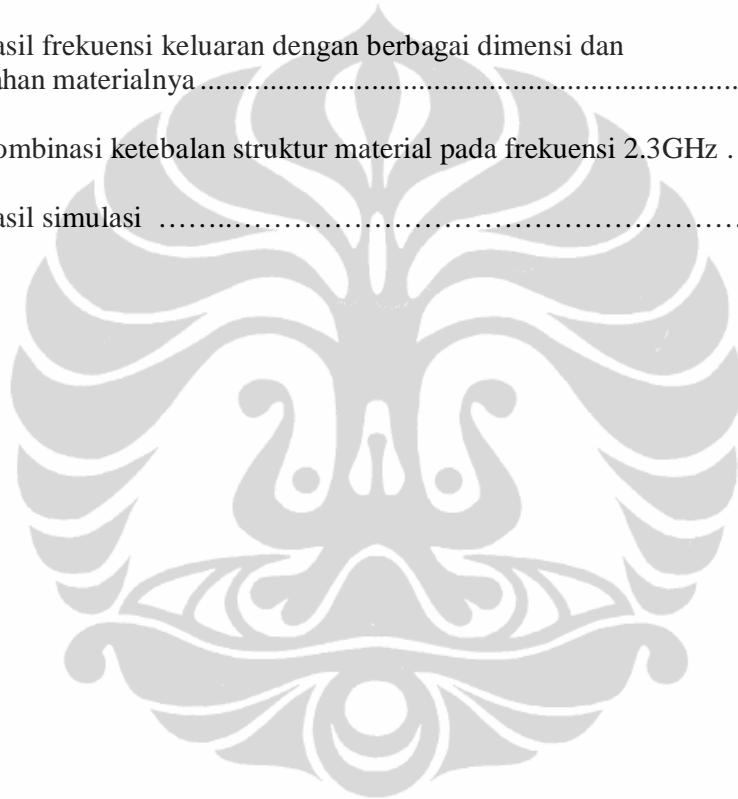
DAFTAR ISI

| | |
|--|-----------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| LEMBAR PENGAJUAN | ii |
| HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS | iii |
| HALAMAN PENGESAHAN | iv |
| KATA PENGANTAR | v |
| HALAMAN PERNYATAAN PUBLIKASI | vi |
| ABSTRAK | vii |
| ABSTRACT | viii |
| DAFTAR ISI | ix |
| DAFTAR TABEL | xi |
| DAFTAR GAMBAR | xii |
| I. PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.1.1 WiMAX | 1 |
| 1.1.2 Pilihan spektrum frekuensi untuk WiMAX | 2 |
| 1.1.3 Aplikasi WiMAX | 3 |
| 1.1.4 Teknologi divais | 4 |
| 1.2 Tujuan Penulisan | 5 |
| 1.3 Batasan Masalah | 5 |
| 1.4 Metode Penelitian | 5 |
| 1.5 Penulisan | 6 |
| II. TINJAUAN PUSTAKA MEMS RESONATOR UNTUK APLIKASI | |
| OSILATOR | 8 |
| 2.1 <i>Micro-electro mechanical system (MEMS)</i> | 8 |
| 2.2 <i>MEMS</i> resonator untuk osilator | 8 |
| 2.3 <i>State of the art MEMS</i> osilator | 10 |
| 2.3.1 MEMS resonator <i>clamped-clamped beam (CC Beam)</i> | 11 |
| 2.3.2 MEMS resonator <i>free-free beam (FF Beam)</i> | 13 |
| 2.3.3 MEMS resonator FBAR | 14 |
| 2.3.4 MEMS resonator <i>contour-mode</i> | 15 |
| III. MEMS RESONATOR..... | 20 |
| 3.1 Osilator | 20 |
| 3.2 <i>Micro-electromechanical System (MEMS)</i> resonator | 21 |
| 3.3.1 MEMS dasar | 22 |
| 3.3.2 <i>Comb-Drive</i> Resonator | 23 |
| 3.3.3 Resonator balok | 25 |

| | |
|---|-----------|
| 3.3.4 Resonator yang digandeng | 26 |
| 3.3.5 <i>Film Bulk Acoustic Resonator</i> | 28 |
| 3.3 MEMS Osilator..... | 29 |
| 3.3.1 Piezoelektrik..... | 32 |
| 3.3.2 Prinsip kerja <i>Contour-mode MEMS Resonator</i> Piezoelektrik | 35 |
| | |
| IV. PERANCANGAN MICROMECHANICAL RESONATOR UNTUK OSILATOR WIMAX | 40 |
| 4.1 Parameter-parameter MEMS osilator | 40 |
| 4.2 Tahapan Implementasi | 40 |
| 4.3 Spesifikasi MEMS Osilator | 41 |
| 4.4 Desain MEMS resonator untuk osilator WiMAX | 42 |
| 4.4.1 Validasi hasil simulasi MEMS resonator piezoelektrik berbentuk cincin persegi mode kontur..... | 44 |
| 4.4.2 Hasil simulasi MEMS resonator piezoelektrik berbentuk cincin persegi mode kontur | 46 |
| 4.5 Parameter-parameter masukan perancangan | 47 |
| 4.5.1 Dimensi material | 47 |
| 4.5.2 Bahan piezoelektrik | 48 |
| | |
| V. BAB V HASIL PEMBAHASAN | 49 |
| 5.1 Keluaran desain dengan membuat variasi ketebalan ZnO | 49 |
| 5.2 Keluaran desain dengan membuat variasi ketebalan Elektroda | 50 |
| 5.3 Perbedaan keluaran output frekuensi terhadap struktur material | 51 |
| 5.4 Perbandingan keluaran frekuensi bentuk geomteri pada ring balok berlubang dengan tanpa lubang | 52 |
| 5.5 Hasil analisis kombinasi ketebalan material untuk frekuensi 2.3 GHz .. | 52 |
| 5.6 Keluaran simulasi S11 (return loss) | 53 |
| 5.7 Keluaran simulasi S21 (insertion loss) | 54 |
| 5.8 Beberapa keluaran magnitude dengan variasi ketebalan piezoelektrik . | 54 |
| 5.8.1 Piezelektrik ZnO dengan ketebalan 0,2 μm | 54 |
| 5.8.2 Piezelektrik ZnO dengan ketebalan 0,4 μm | 55 |
| 5.8.3 Piezelektrik ZnO dengan ketebalan 0,6 μm | 55 |
| 5.8.4 Piezelektrik ZnO dengan ketebalan 0,8 μm | 56 |
| 5.8.5 Piezelektrik ZnO dengan ketebalan 1,0 μm | 56 |
| 5.8.6 Piezelektrik ZnO dengan ketebalan 1,2 μm | 57 |
| 5.9 Hasil simulasi | 57 |
| | |
| VI. PENUTUP..... | 58 |
| 6.1 Kesimpulan | 58 |
| | |
| DAFTAR REFERENSI | 59 |
| LAMPIRAN | 62 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 1.1 Ringkasan potensi pilihan spectrum frekuensi untuk WiMAX | 2 |
| Tabel 4.1 Parameter-parameter MEMS Osilator | 40 |
| Tabel 4.2 Spesifikasi Osilator untuk Mobile WiMAX | 42 |
| Tabel 4.3 Parameter-parameter keluaran desain | 47 |
| Tabel 4.4 Hasil frekuensi keluaran dengan berbagai dimensi dan bahan materialnya | 48 |
| Tabel 5.1 Kombinasi ketebalan struktur material pada frekuensi 2.3GHz | 53 |
| Tabel 5.2 Hasil simulasi | 57 |



DAFTAR GAMBAR

| | | |
|-------------|---|----|
| Gambar 2.1 | Tipikal MEMS osilator umpan balik langsung | 9 |
| Gambar 2.2 | Tipikal rangkaian osilator yang terdiri dari bagian mekanikal (MEMS) dan bagian elektrikal | 10 |
| Gambar 2.3 | Skema pandangan sebuah pengaturan sendiri resonator cakram ... | 11 |
| Gambar 2.4 | Resonator <i>Clamped-Clamped Beam</i> dengan menggunakan Polysilicon | 12 |
| Gambar 2.5 | Resonator <i>Clamped-Clamped Beam</i> | 12 |
| Gambar 2.6 | <i>Clamped-Clamped Beam</i> comb drive | 13 |
| Gambar 2.7 | Resonator <i>Free-Free Beam</i> | 13 |
| Gambar 2.8 | Resonator <i>film bulk acoustic resonator (FBAR)</i> | 14 |
| Gambar 2.9 | <i>Wineglass disk</i> Resonator | 15 |
| Gambar 2.10 | Contour-mode disk resonator | 16 |
| Gambar 2.11 | Hollow disk resonator | 16 |
| Gambar 2.12 | Resonator persegi | 17 |
| Gambar 2.13 | Disk wineglass | 17 |
| Gambar 2.14 | Resonator cincin lingkaran/persegi | 18 |
| Gambar 2.15 | Elektrikal rectangular <i>coupled ladder</i> | 19 |
| Gambar 2.16 | Elektrikal circle coupled ladder | 19 |
| Gambar 3.1 | Transceiver dengan sebagian modul yang dapat menggunakan MEMS | 22 |
| Gambar 3.2 | Ilustrasi sebuah mechanical osilator terdiri dari elemen sebuah pegas dan damping yang mempresentasikan kerugian mechanical | 22 |
| Gambar 3.3 | Ilustrasi efek kualitas factor, Q , yang berhubungan dengan amplitude osilasi dan frekuensi | 23 |

| | | |
|-----------------------|---|----|
| Gambar 3.4 | Ilustrasi sebuah resonator micromachined folded-beam comb-drive | 24 |
| Gambar 3.5 | Ilustrasi sebuah resonator balok dan sebuah tipikal sirkuit untuk mengukur sinyal..... | 25 |
| Gambar 3.6 | Scanning elektron mikrograf dari permukaan polysilicon micromachined bandpass filter yang terdiri dari dua resonator balok terjepit digabungkan oleh pegas lentur sedikit ditengahnya. Eksitasi dan perabaan terjadi antara balok dan elektroda di bawahnya pada permukaan substrat. UKuran setiap resonator balok panjang 41 μm , lebar 8 μm , dan tebal 2 μm . Kopling panjang 20 μm dan lebar 0,75 μm | 26 |
| Gambar 3.7 | Ilustrasi resonator yang identik, dengan masing-masing masa dan pegas digabungkan oleh pegas lentur sedikit yang sesuai ditengahnya. Sistem ini mempunyai 2 mode osilasi resonan, untuk gerakan sefase dan beda fase, menghasilkan sebuah karakteristik <i>bandpass</i> | 27 |
| Gambar 3.8 | Film bulk acoustic resonator (FBAR): (a) potongan melintang sebuah FBAR dan simbol; (b) impedansi versus frekuensi sebuah individual FBAR; (c) ekuivalen rangkaian listrik..... | 29 |
| Gambar 3.9 | Matrik micromechanical resonator & bentuk mode getarannya. | 30 |
| Gambar 3.9 (Lanjutan) | Matrik micromechanical resonator & bentuk mode getarannya | 31 |
| Gambar 3.10 | Dampak Tegangan Listrik pada Material Piezoelektrik | 33 |
| Gambar 3.11 | Penyebaran Muatan Listrik dari Kristal Piezoelektrik..... | 33 |
| Gambar 3.12 | <i>Transverse Effect, Longitudinal Effect & Shear effect</i> | 34 |
| Gambar 3.13 | Dua mode konversi piezoelektrik dari masukan tekanan mekanis | 34 |
| Gambar 3.14 | Bentuk geometri desain <i>ring</i> persegi | 36 |
| Gambar 3.15 | solusi grafik persamaan (3.7) untuk parameter-parameter: $E = 110 \text{ GPa}$, $\rho = 2.23 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, $\sigma = 0.2$, target frekuensi $f_0 = 1 \text{ GHz}$ dan jari-jari dalam $r_i = 5 \mu\text{m}$. solusi pertamanya $r_o = 8.66 \mu\text{m}$ | 37 |
| Gambar 4.1 | Tahapan implementasi | 41 |

| | |
|---|----|
| Gambar 4.2 Desain resonator 3 dimensi (a) tidak berlubang, (b) berlubang..... | 43 |
| Gambar 4.3 Desain resonator (a) Tampak atas, (b) Tampak potongan melintang..... | 44 |
| Gambar 4.4 Deformasi hasil simulasi analisis mekanikal untuk frekuensi 472,5 MHz | 45 |
| Gambar 4.5 Grafik output frekuensi dinamik untuk frekuensi 472,5 MHz | 45 |
| Gambar 4.6 Deformasi hasil simulasi analisis mekanikal untuk frekuensi 2,3 GHz | 46 |
| Gambar 4.7 Grafik output frekuensi dinamik untuk frekuensi 2,3 GHz | 46 |
| Gambar 5.1 Keluaran frekuensi sebagai fungsi variasi ketebalan ZnO dengan kedua elektroda konstan..... | 49 |
| Gambar 5.2 Keluaran frekuensi sebagai fungsi variasi ketebalan elektroda Dengan piezoelektrik konstan | 50 |
| Gambar 5.3 Perbedan output frekuensi terhadap variasi struktur material..... | 51 |
| Gambar 5.4 Perbandingan cincin persegi dengan berlubang dan tidak berlubang | 52 |
| Gambar 5.5 Keluaran simulasi S11 (<i>return loss</i>) | 53 |
| Gambar 5.6 Keluaran simulasi S12 (<i>insertion loss</i>) | 54 |
| Gambar 5.7 Respon magnitude dengan ZnO 0,2 μm | 54 |
| Gambar 5.8 Respon magnitude dengan ZnO 0,4 μm | 55 |
| Gambar 5.9 Respon magnitude dengan ZnO 0,6 μm | 55 |
| Gambar 5.10 Respon magnitude dengan ZnO 0,8 μm | 56 |
| Gambar 5.11 Respon magnitude dengan ZnO 0,8 μm | 56 |
| Gambar 5.12 Respon magnitude dengan ZnO 0,8 μm | 57 |