

BAB IV

PERANCANGAN *MICROMECHANICAL* RESONATOR UNTUK OSILATOR WiMAX

4.1 PARAMETER-PARAMETER MEMS OSILATOR

Tabel 4.1 adalah parameter-parameter yang akan digunakan pada perancangan Resonator untuk osilator WiMAX.

Tabel 4.1. Parameter-parameter MEMS Osilator

No	Parameter	Definisi	Satuan
1	Frekuensi tengah	Frekuensi ditengah-tengah yang dihasilkan dari natural struktur material dengan nilai tertingginya pada osilasi resonansi.	Hz
2	<i>Bandwidth</i>	perbedaan antara frekuensi atas dan frekuensi bawah (f_2-f_1) pada rangkaian saat respon amplitudonya bernilai tertentu (pada umumnya 3 dB di bawah respon puncak amplitudonya)	Hz
3	Impedansi output	Impedansi output rangkaian osilator. Nilai idealnya adalah 50 Ω (matching dengan saluran transmisi)	Ω
4	<i>Quality Factor (Q)</i>	Q merupakan rasio perbandingan antara frekuensi tengah dan bandwidth-3dB.	
5	Return Loss (S11)	Rugi-rugi karena adanya daya yang dipantulkan ke sumber oleh komponen. Semakin kecil nilai return loss maka semakin matching rangkaian tersebut.	dB
6	Insertion Loss (S12)	Rugi-rugi yang terjadi karena penyelipan komponen, diantara sumber dan pembangkit. Terjadi karena komponen menyerap sinyal dari pembangkit.	dB
7	Derau fasa (<i>Phase Noise</i>)	dihasilkan oleh <i>thermal noise</i> , <i>shot noise</i> , dan <i>flicker noise</i> . <i>Thermal noise</i> merupakan fungsi dari suhu, bandwidth dan <i>noise resistance</i> . <i>Shot noise</i> merupakan fungsi dari arus dc bias. Sedangkan <i>flicker noise</i> merupakan fungsi dari karakteristik devais aktifnya. [25]	dBc/Hz @1 MHz

4.2 Tahapan Implementasi

Pada bagian ini akan dibahas mengenai tahapan-tahapan implementasi untuk sistem yang diajukan di atas. Tahapan-tahapan implementasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan berikut akan dijelaskan satu-persatu:

1. Menentukan spesifikasi dari osilator *mobile* WiMAX.

Tahap pertama adalah menentukan terlebih dahulu spesifikasi dari MEMS osilator.

2. Perancangan yang diajukan

Tahap selanjutnya adalah melakukan desain yang akan dibuat.

3. Simulasi perancangan yang diajukan

Perancangan dan simulasi akan dibuat dengan menggunakan perangkat lunak *IntelliSuite*.

4. Evaluasi kinerja perancangan yang diajukan

Pada penelitian ini akan dilakukan evaluasi terhadap hasil yang diperoleh dari simulasi, meliputi frekuensi yang dihasilkan sebesar 2,3 Ghz, faktor kualitas Q, derau fasa (karena tidak digabungkan dengan bagian elektrikalnya, maka tidak dihitung).



Gambar 4.1 Tahapan implementasi

4.3 Spesifikasi MEMS Osilator

Seperti telah dibahas sebelumnya pada bab 1, frekuensi yang akan digunakan adalah frekuensi 2,3 GHz (2300 – 2400 MHz). Oleh karena itu osilator yang dirancang menggunakan frekuensi center 2,3 GHz, sehingga setelah terjadi pencampuran oleh bagian *mixler* tinggal frekuensi IF sebesar 100 MHz. Untuk lebih jelasnya tentang spesifikasi dari MEMS osilator dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Spesifikasi Osilator untuk Mobile WiMAX [2, 10]

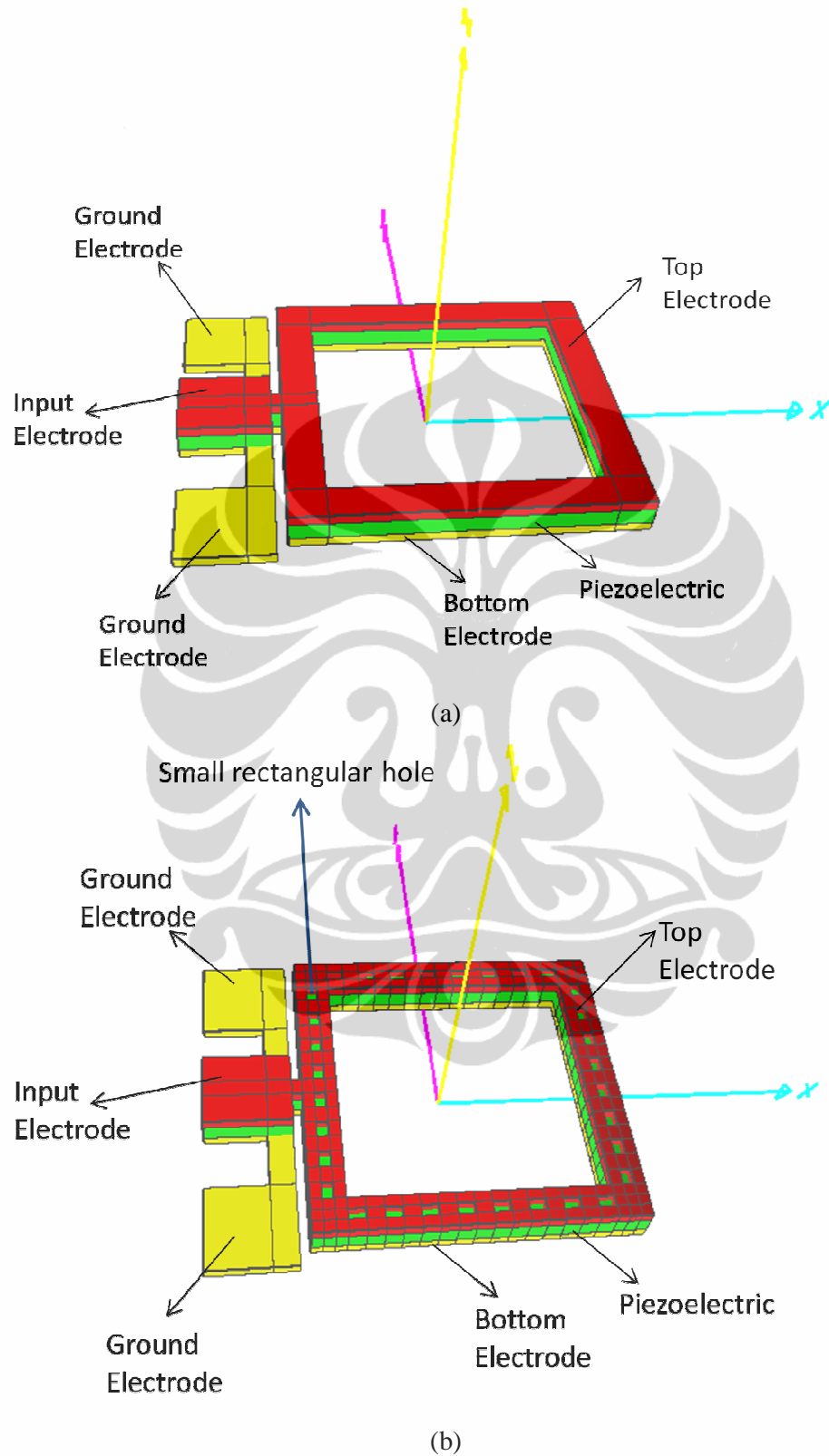
No	Parameter	Nilai
1	Frekuensi center	2.300 GHz
2	<i>Bandwidth</i>	*
3	Impedansi Output	50 ohm
4	<i>Quality Factor Q</i>	> 500
5	Return Loss (S11)	< - 10 dB
6	Insertion Loss (S21)	< 1 dB
7	Derau fasa	<-110 dBc/Hz @ 1 MHz Offset.

4.4 DESAIN MEMS RESONATOR UNTUK OSILATOR WIMAX

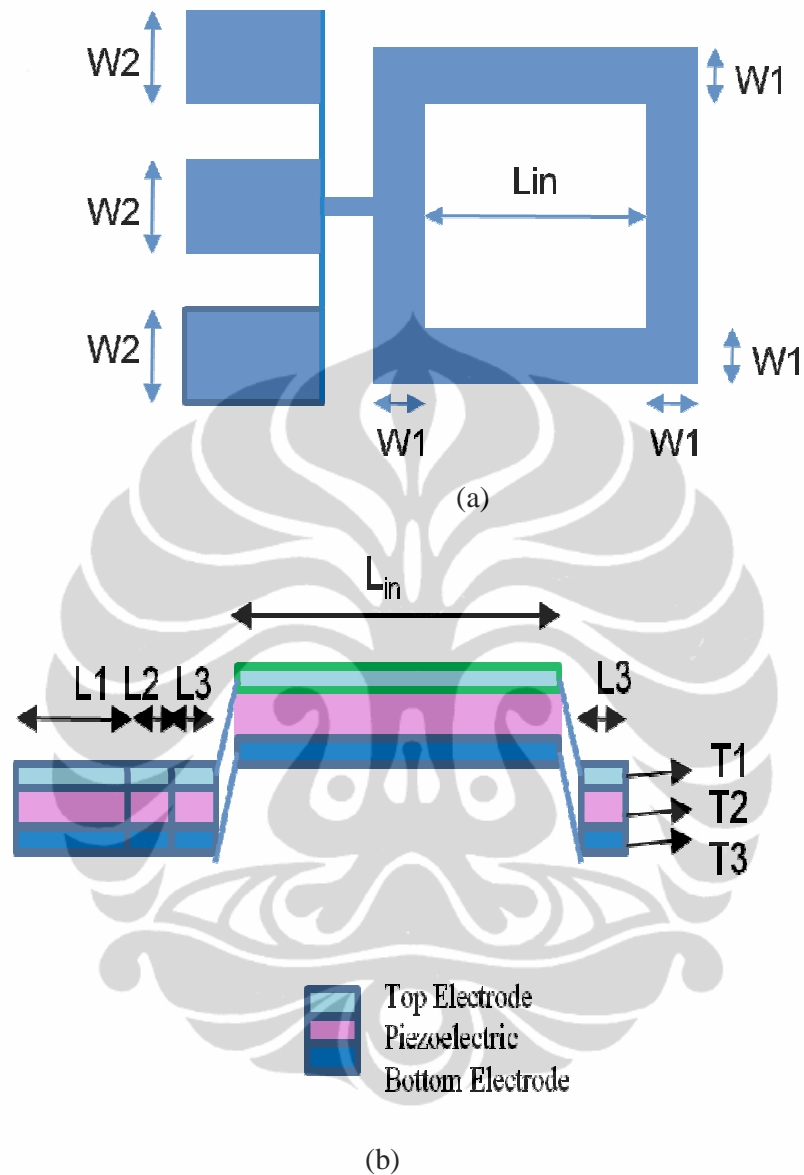
Dalam perancangan MEMS resonator untuk osilator WiMAX yang bekerja pada frekuensi 2.3 GHz, diperoleh bentuk geometri cincin persegi mode kontur (terlihat pada gambar 4.1) yang terdiri dari 3 lapisan dengan piezoelektrik ZnO diapit oleh kedua elektroda atas dan bawah menggunakan material polysilicon. Dimensi untuk menghasilkan frekuensi 2.3 GHz, didapat dengan melakukan pendekatan rumus 3.13 pada bab sebelumnya dan melakukan simulasi dengan software intellesuite, serta dianalisis hasilnya kemudian di cari ukuran yang paling optimum, dengan mempertimbangkan beberapa aspek antara lain kemudahan dalam hal fabrikasi nantinya. Disamping membuat variasi ukuran, dilakukan juga simulasi dengan menggunakan beberapa material, selanjutnya dibandingkan dan dianalisis material yang paling optimum yang dipilih dalam desain ini.

Desain gambar mengacu pada paper yang telah dibuat oleh peneliti sebelumnya [35], divalidasi selanjutnya dimodifikasi sedikit dengan cara selain dimensi berupa panjang *inner ring* (L_{in}) x lebar (W) x ketebalan (T), juga memberikan lubang pada resonator berbentuk persegi panjang kecil pada lapisan atas saja.

Perancangan ini difokuskan pada bagian MEMS-nya yang merupakan bagian osilator yang sangat penting sebagai sumber pembangkit frekuensi yang biasanya menggunakan komponen lumped elemen (R,L,C) dan Kristal. Sedangkan untuk bagian elektrikalnya agar jadi osilator yang utuh dalam satu *chip*, tidak dibahas oleh penulis dalam kesempatan ini. Gambar 4.2 sebuah desain gambar geometri MEMS Resonator berbentuk cincin persegi mode kontur.



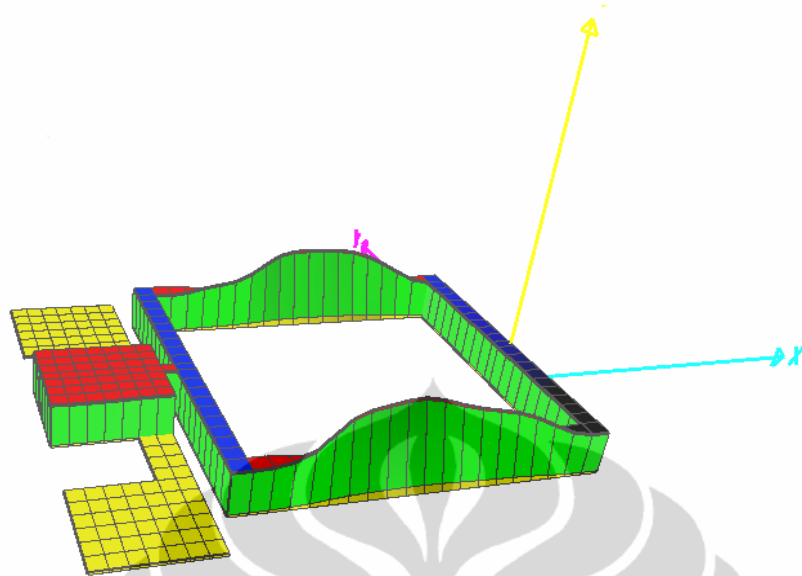
Gambar 4.2 Desain resonator 3 dimensi (a) Tidak berlubang, (b) berlubang



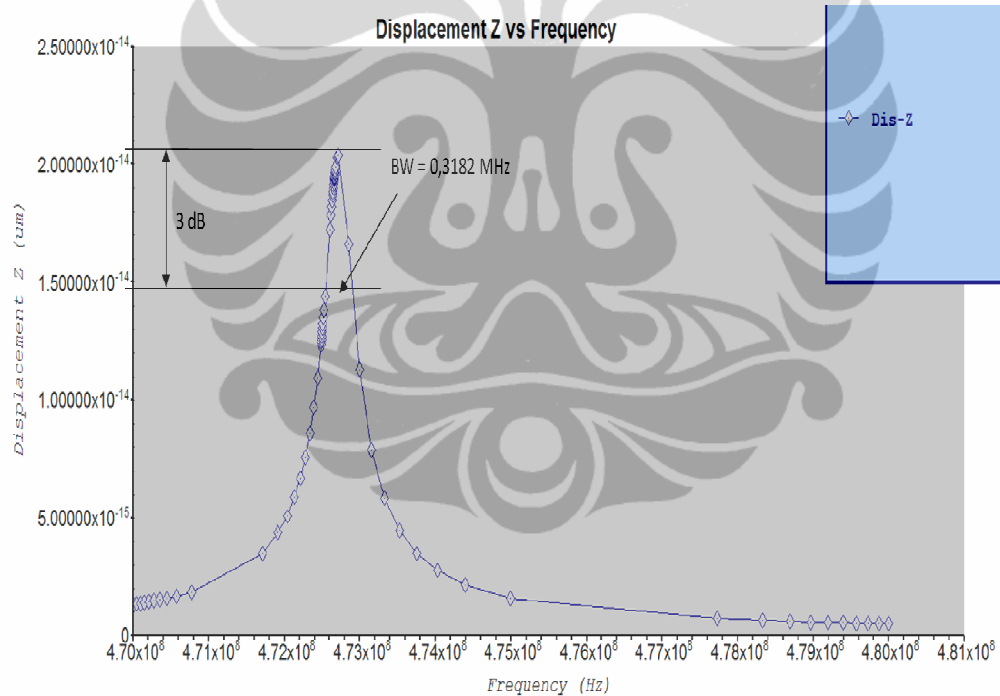
Gambar 4.3 Desain resonator (a) Tampak atas, (b) Tampak potongan melintang.

4.4.1 Validasi hasil simulasi MEMS resonator piezoelektrik berbentuk cincin persegi mode kontur.

Gambar 4.4 dan 4.5 merupakan validasi hasil simulasi mekanikal analisis dan frekuensi dinamik peneliti sebelumnya [35] dengan menggunakan piranti lunak yang berbeda dan piranti lunak yang digunakan dalam simulasi ini adalah *Intellesuite*.



Gambar 4.4 Deformasi hasil simulasi analisis mekanikal untuk frekuensi 472,5 MHz.



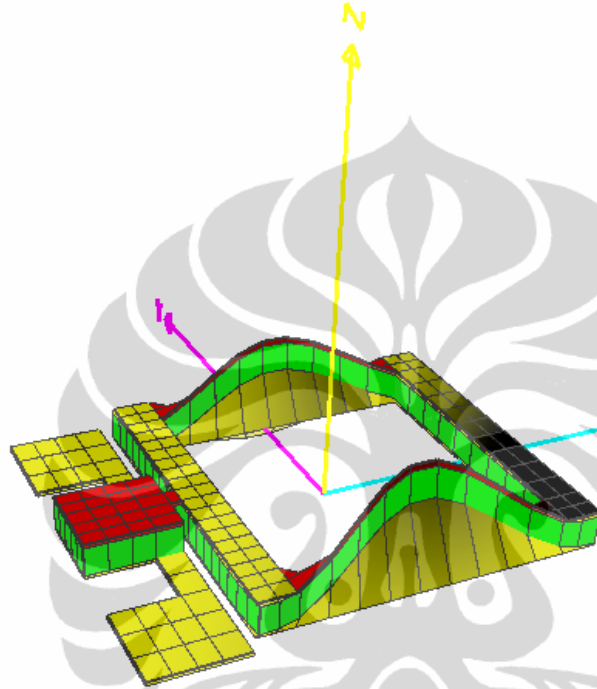
Gambar 4.5 Grafik output frekuensi dinamik untuk frekuensi 472,5 MHz.

Dari gambar 4.5 hasil keluaran desain tersebut dapat dihitung lebar bandwidth dan factor kualitas Q dengan cara meng-ekstrak langsung dari bandwidth 3 dB down lalu diperoleh bandwidth-nya sebesar 0,3182 MHz, selanjutnya dihitung

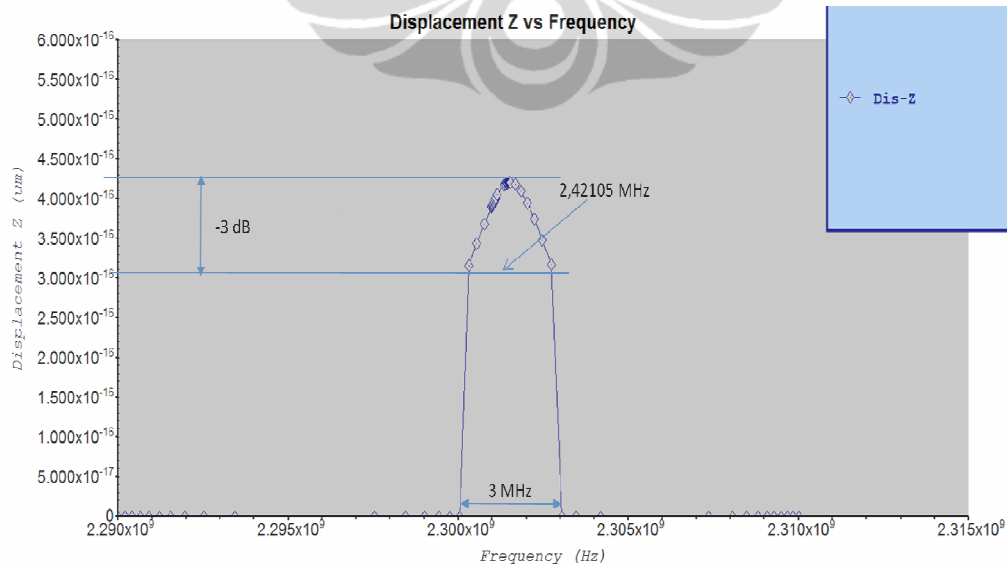
$$Q = \frac{f_c}{BW_{-3\text{ dB}}} = \frac{472,5}{0,3182} = 1.485.$$

4.4.2 Hasil simulasi MEMS resonator piezoelektrik berbentuk cincin persegi mode kontur.

Gambar 4.6 dan 4.7 merupakan salah satu hasil simulasi mekanikal analisis dan frekuensi dinamik yang dirancang untuk memenuhi spesifikasi osilator WiMAX di Indonesia dengan menggunakan piranti lunak *Intellesuite*.



Gambar 4.6 Deformasi hasil simulasi analisis mekanikal untuk frekuensi 2,3 GHz



Gambar 4.7 Grafik output frekuensi dinamik untuk frekuensi 2,3 GHz.

Dari gambar 4.7 hasil keluaran desain tersebut dapat dihitung lebar bandwidth dan factor kualitas Q dengan cara meng-ekstrak langsung dari bandwidth 3 dB down lalu diperoleh bandwidth-nya sebesar 2,8571 MHz, selanjutnya dihitung $Q = \frac{f_c}{BW_{-3\text{ dB}}} = \frac{2300}{2,42105} = 950$. Dari hasil meng-ekstrak gambar 4.5 dan 4.7 dapat diringkaskan dalam table 4.3.

Tabel 4.3 Parameter-parameter keluaran desain

No	Parameter	Validasi		Hasil desain awal	
		target	hasil	target	hasil
1	Frekuensi center	475,3 MHz	472,5 MHz	2,3 GHz	2,3017 GHz
2	<i>Bandwidth kerjanya</i>	*	3 Mhz	*	3 MHz
3	<i>Bandwidth 3 dB down</i>	*	0,3182MHz	*	2,42105 Mhz
4	Impedansi Output	50 Ohm	-	50 Ohm	-
5	<i>Quality Factor</i>	1.600	1.485	>500	950
6	<i>Derau fasa</i>	-	-	-	-

4.5 PARAMETER-PARAMETER MASUKAN PERANCANGAN

Berdasarkan rangkaian ekuivalen MEMS osilator yang telah dijelaskan dalam sub-bab 3.4.2, dapat dilihat bahwa karakteristik resonator dipengaruhi oleh beberapa parameter masukan yaitu dimensi, struktur material yang dipilih, permitivitas material piezoelektrik, kerapatan masa dan sebagainya. Maka parameter-parameter masukan perancangan yang akan diubah-ubah dan dioptimalkan untuk mendapatkan hasil sesuai spesifikasi teknik yang diharapkan adalah:

4.5.1 Dimensi material

Mengacu pada gambar 4.3 di atas, dengan mengubah W_1 , L_{in} , $T_1 - T_3$, akan didapatkan ukuran dimensi yang berbeda-beda. Dengan demikian, parameter-parameter dalam rangkaian ekuivalen resonator-pun akan berbeda sehingga didapat hasil frekuensi resonansi dan performa output yang berbeda pula. Hasil awal simulasi dengan melakukan variasi dimensi seperti terlihat pada table 4.3.

4.5.2 Bahan Piezoelektrik

Karena jenis bahan juga berpengaruh pada performa resonator, maka beberapa bahan akan dicoba untuk disimulasikan. Bahan piezoelektrik yang akan disimulasikan dalam tulisan ini adalah AlN, PZT dan ZnO, selanjutnya hasilnya akan dibandingkan dan dipilih yang paling optimal untuk memenuhi persyaratan spesifikasi osilator WiMAX. Hasil simulasi awal dengan melakukan variasi bahan piezoelektrik seperti terlihat pada table 4.4.

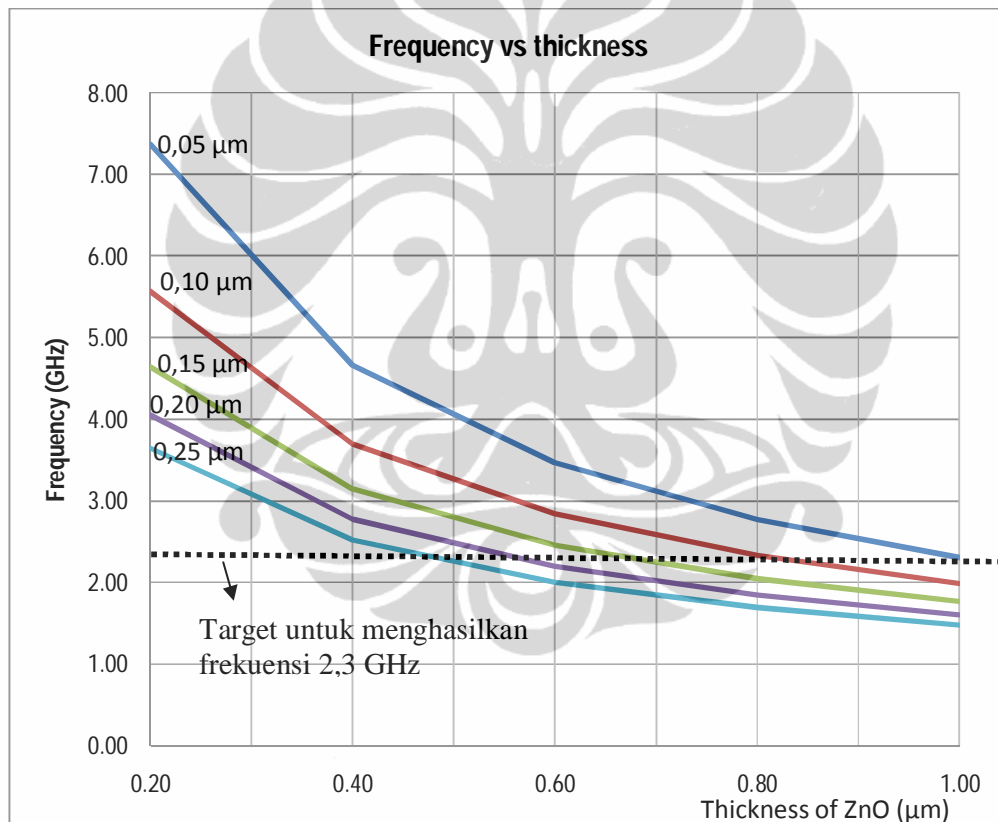
Tabel 4.4 Hasil frekuensi keluaran dengan berbagai dimensi dan bahan materialnya.

No	Material			Dimension of ring ($L_{in} \times W \times T$)			Freq Output (Hz)
	Top Electrode	Piezo-electric	Bottom Electrode	Top Electrode	Piezo-electric	Bottom Electrode	
1	Al	PZT	Pt	180x10x0.08	180x10x2	180x10x0.13	548,570,000
2	Al	PZT	Pt	180x10x0.08	180x10x2.2	180x10x0.13	486,370,000
3	Al	PZT	Pt	180x10x0.08	180x10x2.35	180x10x0.13	472,485,000
4	Al	PZT	Pt	180x10x0.03	180x10x2	180x10x0.3	787,820,000
5	Al	PZT	Pt	180x10x0.03	200x10x3	180x10x0.3	680,174,000
6	Al	PZT	Pt	180x10x0.03	200x10x2	180x10x0.3	799,159,000
7	Al	PZT	Pt	180x10x0.1	200x10x1	180x10x0.3	980,303,000
8	Al	PZT	Pt	180x5x0.1	180x5x1	180x5x0.3	952,971,000
9	Al	PZT	Pt	90x5x0.03	90x5x0.1	90x5x0.3	1,268,820,000
10	Al	PZT	Pt	90x5x0.03	90x5x0.1	90x5x0.09	3,823,820,000
11	Al	PZT	Pt	90x5x0.03	90x5x0.3	90x5x0.09	4,236,100,000
12	Al	PZT	Pt	90x5x0.03	90x5x1	90x5x0.09	2,192,530,000
13	Al	PZT	Pt	90x5x0.060	90x5x1	90x5x0.087	2,203,670,000
14	Al	PZT	Pt	90x5x0.030	90x5x1	90x5x0.080	2,351,300,000
15	Mo	ZnO	Mo	90x5x0.060	90x5x1	90x5x0.087	3,298,820,000
16	Mo	ZnO	Mo	90x5x0.100	90x5x1	90x5x0.100	2,835,850,000
17	Mo	ZnO	Mo	90x5x0.100	90x5x1.500	90x5x0.100	2,409,750,000
18	Mo	ZnO	Mo	90x5x0.100	90x5x1.700	90x5x0.100	2,271,530,000
19	Mo	ZnO	Mo	90x5x0.110	90x5x1.700	90x5x0.110	2,132,840,000
20	Mo	ZnO	Mo	90x5x0.110	90x5x1.600	90x5x0.110	2,194,650,000
21	Mo	ZnO	Mo	90x5x0.110	90x5x1.580	90x5x0.110	2,207,390,000
22	Mo	ZnO	Mo	90x5x0.110	90x5x1.580	90x5x0.110	2,201,070,000
23	Polysi	ZnO	Polysi	90x5x0.110	90x5x1.580	90x5x0.110	1,779,520,000
24	Polysi	ZnO	Polysi	90x5x0.110	90x5x1.950	90x5x0.110	1,564,270,000
25	Polysi	ZnO	Polysi	90x5x0.110	90x5x1.62	90x5x0.110	1,753,340,000
26	Polysi	ZnO	Polysi	90x5x0.110	90x5x1.582	90x5x0.110	1,778,150,000
27	Polysi	ZnO	Polysi	90x5x0.110	90x5x1.2	90x5x0.110	2,075,980,000
28	Polysi	ZnO	Polysi	90x5x0.110	90x5x1.05	90x5x0.110	2,225,480,000
29	Polysi	ZnO	Polysi	90x5x0.110	90x5x1.10	90x5x0.110	2,173,000,000
30	Polysi	ZnO	Polysi	90x5x0.110	90x5x1.07	90x5x0.110	2,204,140,000

BAB V HASIL PEMBAHASAN

5.1 KELUARAN DESAIN DENGAN MEMBUAT VARIASI KETEBALAN ZnO.

Dengan melakukan *running* program pada intellesuite dengan cara merubah-rubah ketebalan piezoelektrik ZnO, dengan kondisi ketebalan kedua elektroda konstan, diperoleh hasil frekuensi keluaran seperti pada gambar 5.1.



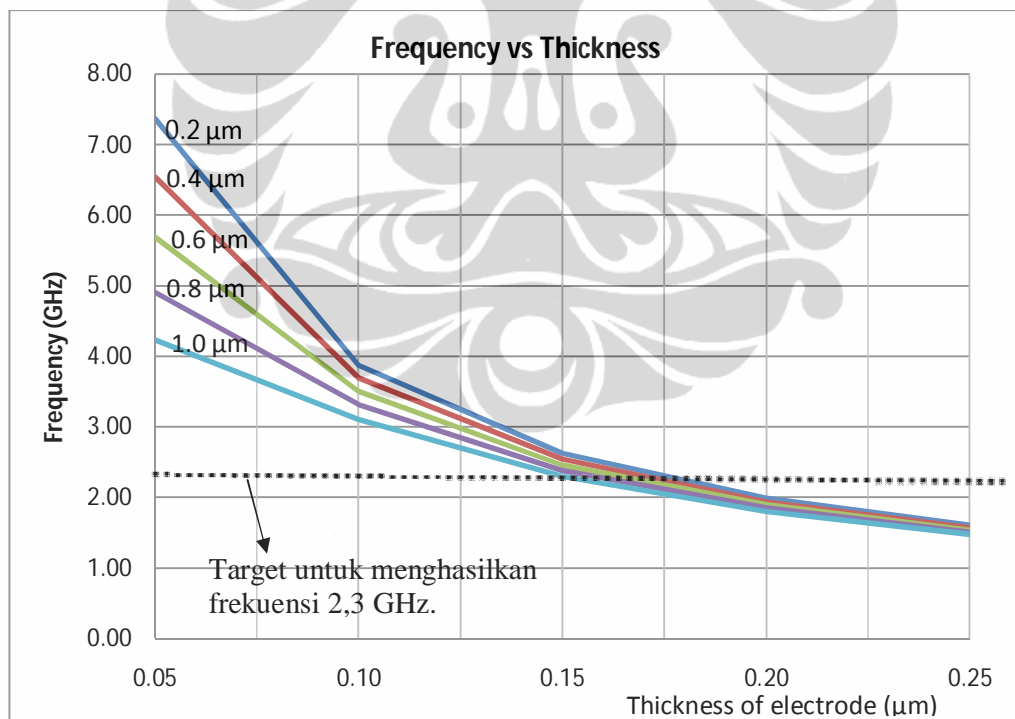
Gambar 5.1. Keluaran frekuensi sebagai fungsi variasi ketebalan ZnO dengan kedua elektroda konstan.

Gambar 5.1 merupakan proses untuk mendapatkan frekuensi 2,3 GHz, dengan cara melakukan variasi ketebalan piezoelektrik ZnO dan ketebalan kedua elektroda dibuat konstan, hasilnya di plot pada grafik, selanjutnya frekuensi yang menjadi target ditandai dengan penarikan garis putus-putus yang akan

berpotongan dengan kelima grafik keluaran, selanjutnya hasilnya dipetakan pada tabel 5.1 dan langkah selanjutnya dilakukan simulasi yang sifatnya penghalusan untuk mendapatkan kombinasi yang paling optimum dengan tetap mempertimbangkan faktor-faktor lainnya, seperti ketebalan piezo harus lebih tebal dari ketebalan elektroda dan *skin effect factor*. Cara ini ditempuh untuk menyederhanakan proses *try and error* dan mengurangi/menyederhanakan banyaknya iterasi yang akan dilakukan dalam program, sehingga pada saat running program sudah didapatkan hasil pendekatan yang mengarah ke target.

5.2 KELUARAN DESAIN DENGAN MEMBUAT VARIASI KETEBALAN ELEKTRODA

Dengan melakukan running program pada intellesuite dengan cara merubah-ubah ketebalan elektroda dengan kondisi ketebalan piezoelektrik konstan, diperoleh hasil frekuensi keluaran seperti pada gambar 5.2.

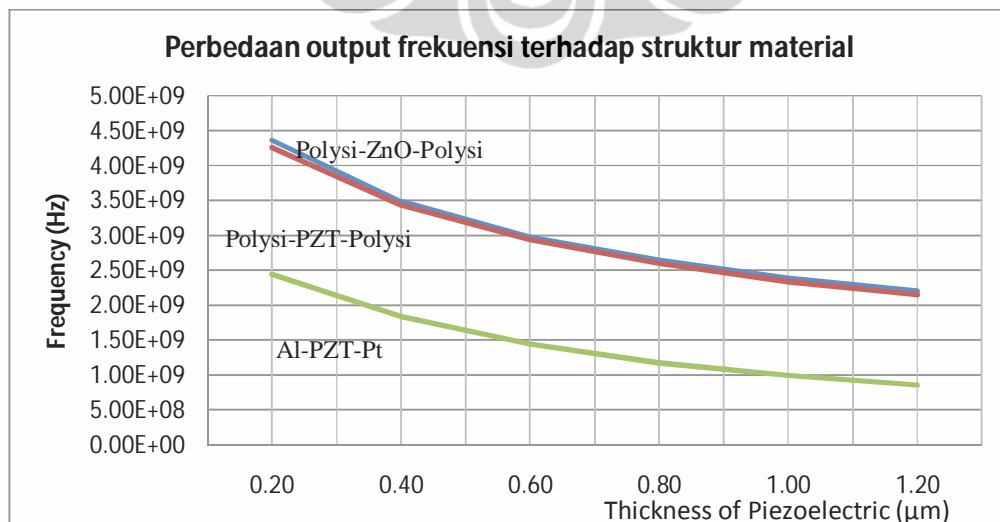


Gambar 5.2 Keluaran frekuensi sebagai fungsi variasi ketebalan elektroda dengan ketebalan piezoelektrik ZnO konstan.

Gambar 5.2 memperlihatkan hasil keluaran frekuensi dengan menerapkan variasi ketebalan elektroda dan ketebalan piezo dianggap konstan dengan nilai masing-masing grafik pada konstan 0,2 μm , 0,4 μm , 0,6 μm , 0,8 μm dan 1,0 μm . Untuk mendapatkan pendekatan frekuensi 2,3 GHz, dilakukan penarikan garis putus-putus pada sumbu Y dengan nilai 2,3 GHz, selanjutnya hasil perpotongan garis putus-putus dengan kelima grafik dipetakan pada tabel 5.1. Untuk mendapatkan hasil yang paling optimum dilakukan penghalusan dengan *running* program sampai mendapatkan frekuensi yang paling mendekati sekitar 2,3 GHz dengan dimensi yang akan ditentukan kemudian dalam simulasi. Proses ini diperlukan untuk mengurangi/menyederhanakan sejumlah iterasi *try and error*, sehingga *running* program dapat dioptimalkan.

5.3 PERBEDAAN KELUARAN OUTPUT FREKUENSI TERHADAP STRUKTUR MATERIAL

Dengan mengubah-ubah struktur material dari geometri MEMS resonator piezoelektrik berbentuk cincin persegi mode kontur dengan kombinasi struktur bahannya sebagai berikut : (a) Piezoelektrik ZnO yang diapit oleh kedua elektroda, (b) Piezoelektrik PZT yang diapit oleh polysilicon, (c) Piezoelektrik AlN yang diapit oleh aluminum sebagai elektroda atas dan platina sebagai elektroda bawah, dengan ketebalan masing-masing elektroda dibuat konstan sebesar 0.11 μm dan piezoelektrik dibuat bervariasi dari 0,2 sampai dengan 1.2 μm . Hasil simulasi seperti terlihat pada gambar 5.3.

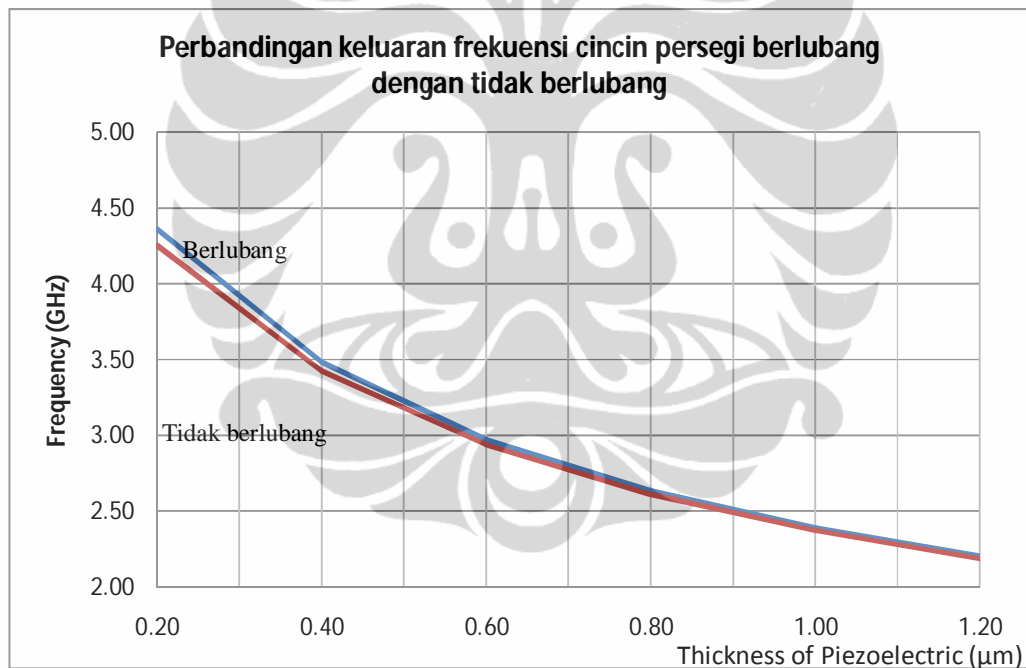


Gambar 5.3 Perbedaan output frekuensi terhadap variasi struktur material.

Terlihat dari hasil simulasi diperoleh bahwa dengan dimensi yang sama dan kombinasi struktur material, didapatkan susunan material yang paling optimum untuk menghasilkan frekuensi lebih tinggi dari material lainnya, yakni struktur elektroda Polysilicon dan piezoelektrik ZnO.

5.4. PERBANDINGAN KELUARAN FREKUENSI BENTUK GEOMETRI PADA *RING* BALOK BERLUBANG DENGAN TANPA LUBANG.

Dengan jalan melubangi pada *ring* balok dan tanpa lubang dengan variasi ketebalan yang sama antara kedua resonator tersebut, didapatkan hasil frekuensi seperti pada gambar 5.4.



Gambar 5.4 Perbandingan Cincin persegi dengan berlubang dan tidak berlubang

5.5 HASIL ANALISIS KOMBINASI KETEBALAN MATERIAL UNTUK FREKUENSI 2.3 GHZ.

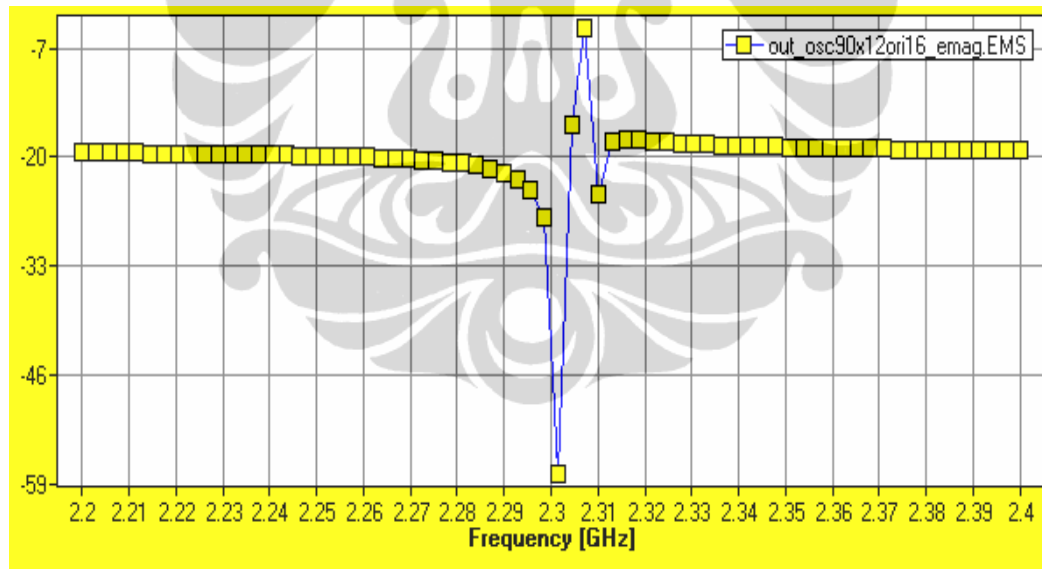
Dari hasil analisis gambar 5.1 dan 5.2 dapat ditarik untuk dapat menghasilkan target frekuensi kerja 2.3 Ghz seperti pada table 5.1.

Table 5.1 Kombinasi ketebalan struktur material pada frekuensi 2.3 GHz.

No	Piezoelectric (μm)	Top Electrode (μm)	Bottom Electrode (μm)
1	0.2	0.25	0.25
2	0.4	0.20-0.25	0.20-0.25
3	0.6	0.15-0.20	0.15-0.20
4	0.8	0.10-0.15	0.10-0.15
5	1.0	0.10-0.15	0.10-0.15
6	1.1-1.2	0.11	0.11

Dari hasil keluaran pada table 5.1, dapat dianalisis bahwa untuk mendapatkan frekuensi osilator pada WiMAX sebesar 2.3 GHz, diperoleh hasil kombinasi ketebalan yang paling optimum berturut untuk top elektroda, Piezoelektrik dan bottom elektroda adalah $0.110 \mu\text{m}$, $1.085 \mu\text{m}$ dan $0.110 \mu\text{m}$.

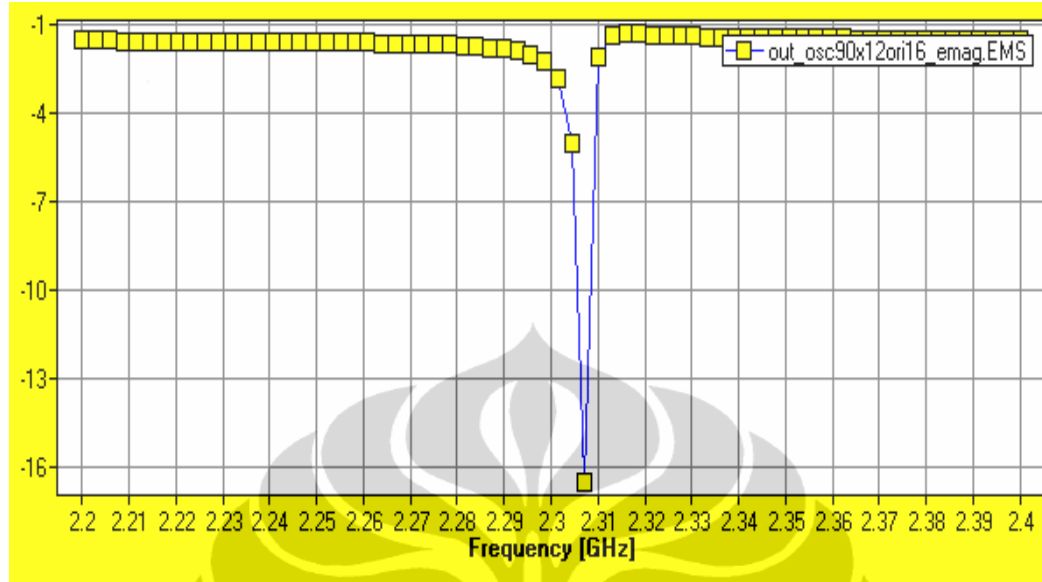
5.6 KELUARAN SIMULASI S11 (RETURN LOSS)



Gambar 5.5 Respon keluaran simulasi S11

Terlihat pada gambar 5.5 hasil simulasi menunjukkan bahwa untuk nilai return loss dari bentuk geometri cincin persegi kira-kira = - 57 dB pada frekuensi tepatnya 2,3017 GHz.

5.7. KELUARAN SIMULASI S12 (INSERTION LOSS)



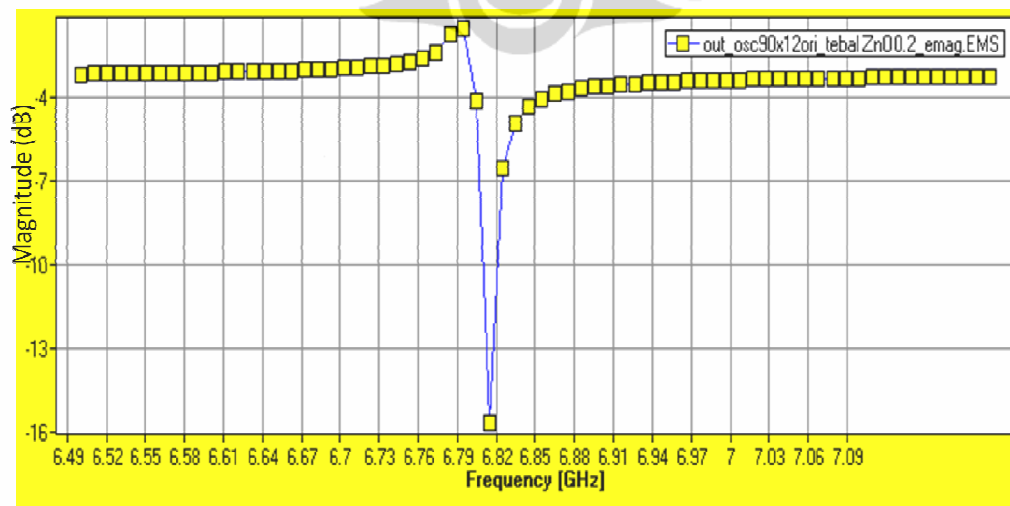
Gambar 5.6 Respon keluaran simulasi S12

Terlihat pada gambar 5.6 untuk nilai insertion loss kira-kira = - 2 dB pada frekuensi 2,3017 GHz.

5.8. BEBERAPA KELUARAN MAGNITUDE DENGAN VARIASI KETEBALAN PIEZOELEKTRIK

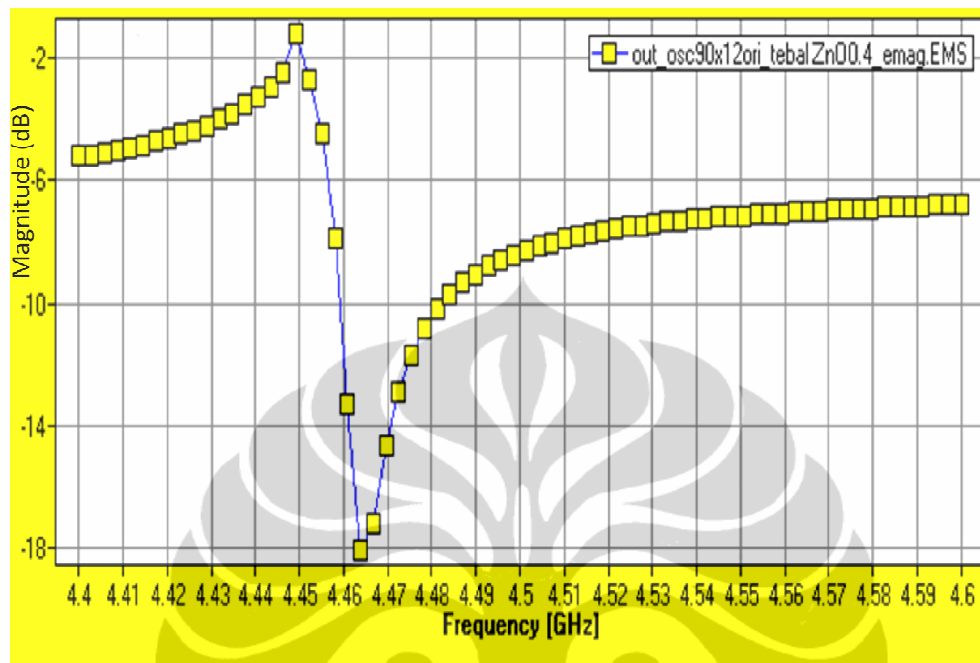
Dengan melakukan berbagai variasi ketebalan piezoelektrik dan kedua elektroda dibuat konstan sebesar $0,45 \mu\text{m}$ diperoleh respon magnitude (dB), seperti terlihat pada gambar 5.7 sampai dengan 5.11.

5.8.1 Piezoelektrik ZnO dengan ketebalan $0,2 \mu\text{m}$



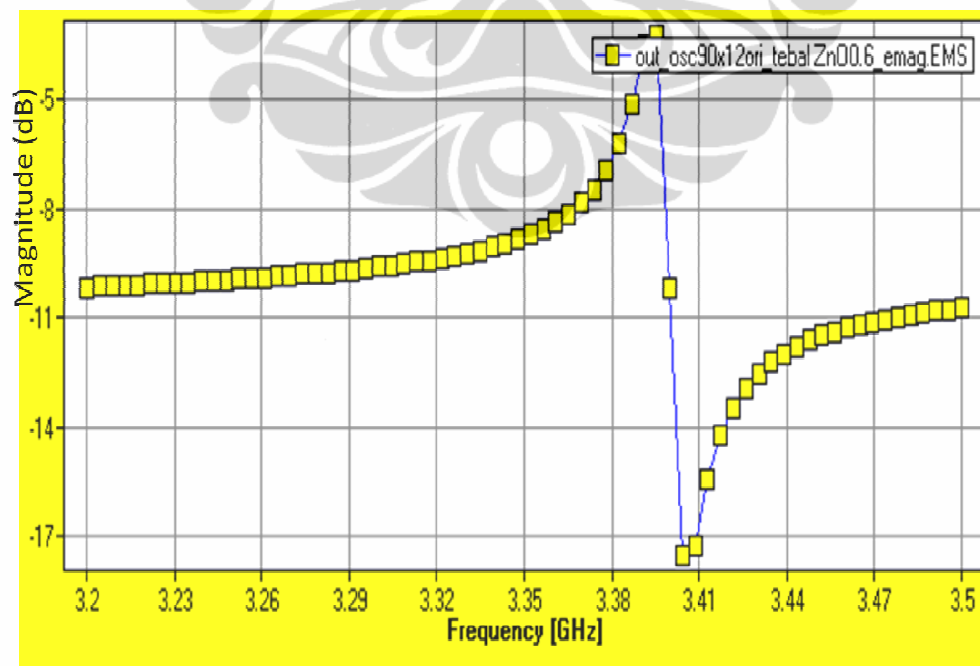
Gambar 5.7 Respon magnitude dengan ZnO $0,2 \mu\text{m}$

5.8.2 Piezoelektrik ZnO dengan ketebalan 0,4 μm



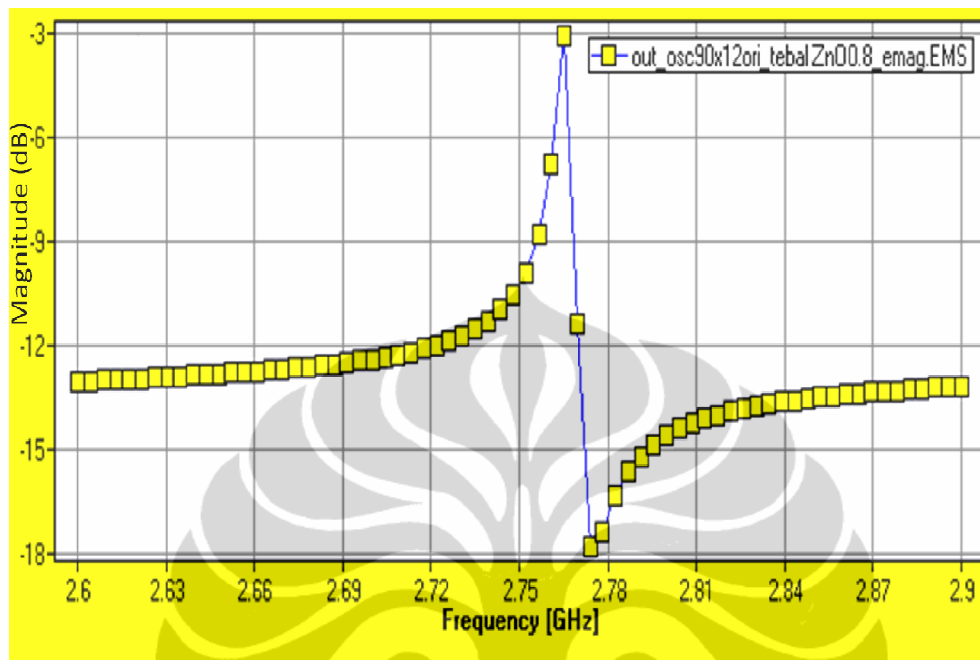
Gambar 5.8 Respon magnitude dengan ZnO 0,4 μm

5.8.3 Piezoelektrik ZnO dengan ketebalan 0,6 μm



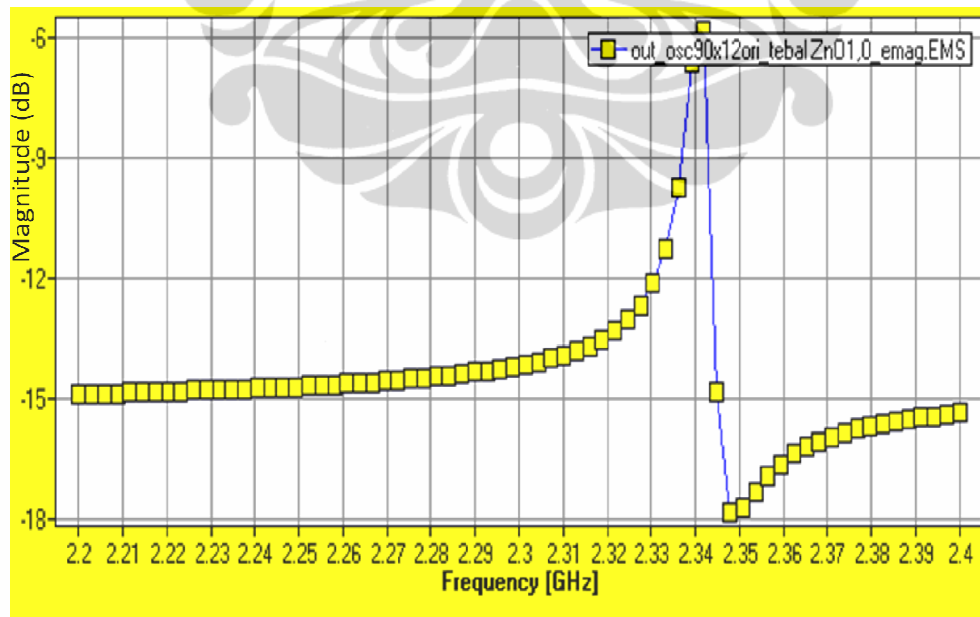
Gambar 5.9 Respon magnitude dengan ZnO 0,6 μm

5.8.4 Piezoelektrik ZnO dengan ketebalan 0,8 μm



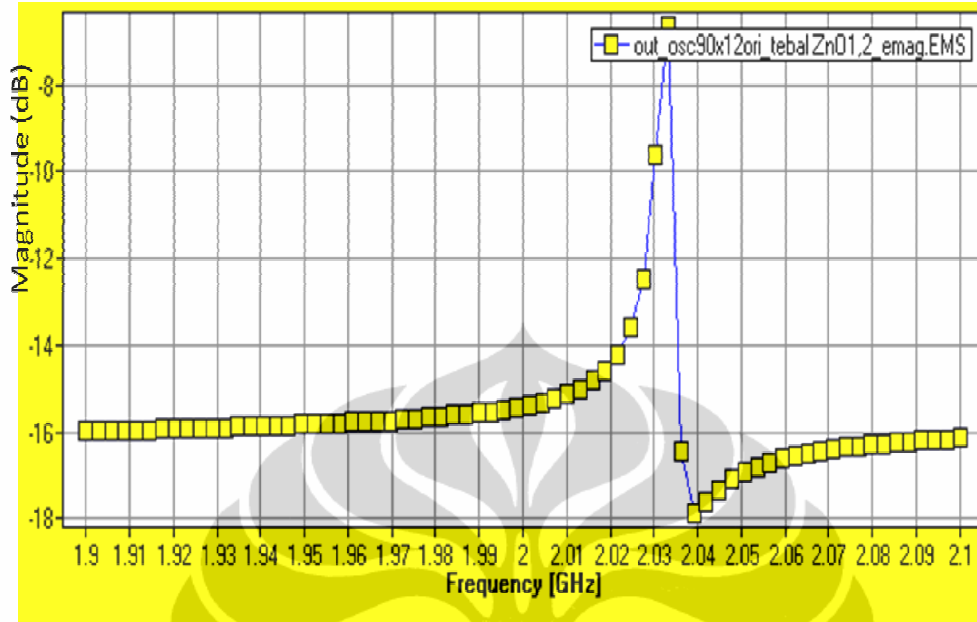
Gambar 5.10 Respon magnitude dengan ZnO 0,8 μm

5.8.5 Piezoelektrik ZnO dengan ketebalan 1,0 μm



Gambar 5.11 Respon magnitude dengan ZnO 1,0 μm

5.8.6 Piezoelektrik ZnO dengan ketebalan 1,2 μm



Gambar 5.12 Respon magnitude dengan ZnO 1,2 μm

5.9 Hasil simulasi

Dari hasil simulasi di atas dapat dibuat rekapitulasi tabel sesuai spesifikasi teknik yang dipersyaratkan dalam rancangan MEMS resonator untuk osilator WiMAX, seperti terlihat pada tabel 5.2.

Tabel 5.2 Hasil simulasi

No	Parameter	Target	Hasil desain
1	Frekuensi center	2,300 GHz	2,3017
2	<i>Bandwidth</i>	*	3 MHz
3	Impedansi Output	50 Ohm	-
4	<i>Quality Factor Q</i>	> 500	950
5	Return Loss (S11)	< -10 dB	-57 dB
6	Insertion Loss (S21)	< 1 dB	-2 dB
7	Derau fasa	-	-