

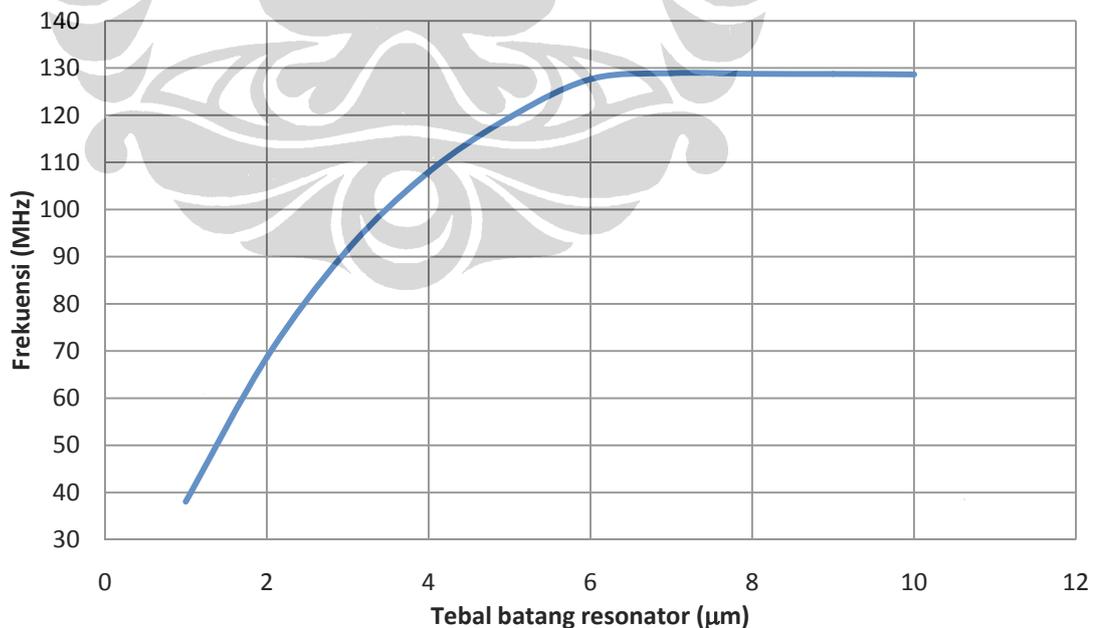
BAB 5

HASIL SIMULASI DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Simulasi Karakteristik Rancangan Resonator

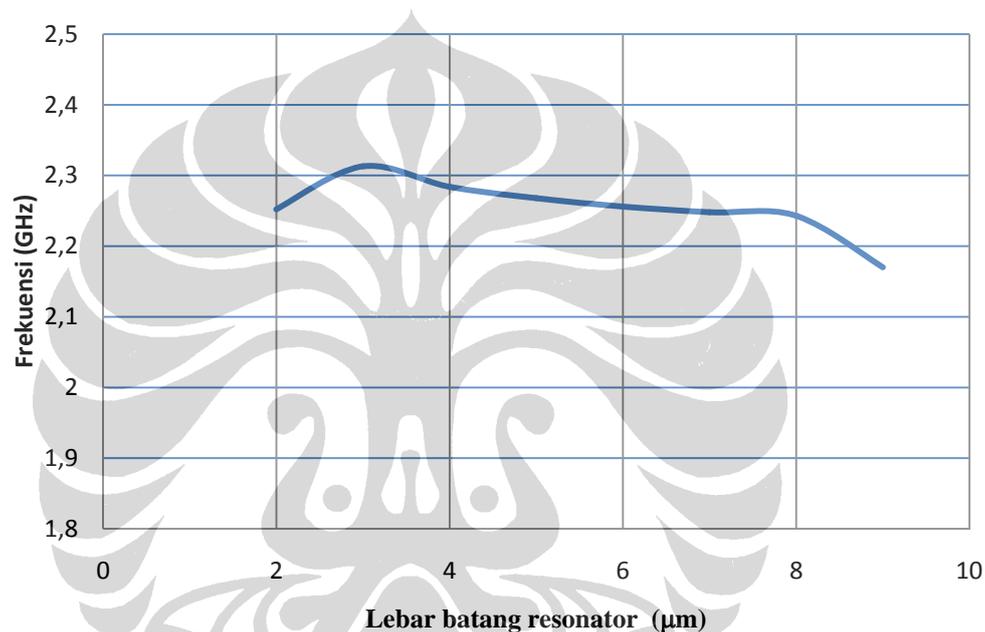
Filter dibentuk dari *RSG* yang terdiri dari sebuah *cc-MEMS* resonator. Resonator dianggap sebagai gerbang bergerak (*mobile gate*) di atas saluran, daerah penguras arus dan sumber dari MOSFET deteksi yang dipisahkan oleh celah udara yang dikenal dengan *gap* serta dilapisi dengan silikon dioksida sebagai isolator. Untuk mengoptimalkan fungsi aktuasi, deteksi kapasitans serta penyesuaian ukuran resonator maka berdasarkan prinsip yang sama bagian aktuasi (resonator) dan deteksi (MOSFET) dikembangkan dengan bentuk tersusun dalam satu alat seperti diperlihatkan pada Gambar 4.2.

Karakteristik rancangan akan dilakukan dengan mengubah-ubah salah satu parameter dimensi sementara yang lainnya tetap. Tujuannya adalah untuk mempelajari pengaruh perubahan salah satu parameter tersebut terhadap keseluruhan unjuk kerja filter.



Gambar 5.1 Grafik variasi ketebalan resonator polysilicon dengan lebar dan panjang yang konstan masing-masing $6 \mu\text{m}$ dan $15 \mu\text{m}$

Gambar 5.1 menampilkan perubahan frekuensi resonansi terhadap perubahan ketebalan batang resonator dengan panjang, lebar, *gap* resonator tetap. Perubahan ketebalan batang resonator memiliki pengaruh terhadap kenaikan frekuensi resonansi resonator. Hal ini disebabkan semakin tebal batang resonator maka semakin besar konstanta kekakuan (*stiffness*) dari resonator dengan demikian frekuensi akan semakin besar. Tetapi pada saat kondisi tertentu kenaikan frekuensi tidak linear lagi malahan cenderung konstan hal ini disebabkan karena pengaruh dari massa batang yang juga semakin meningkat.

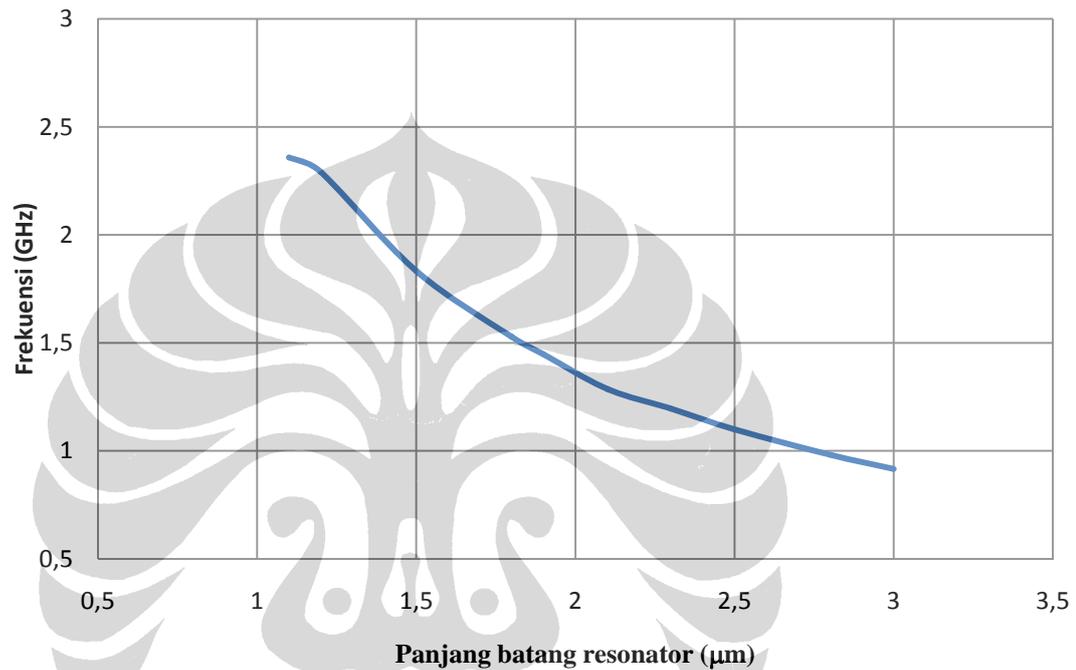


Gambar 5.2 Grafik variasi lebar resonator polysilicon dengan tebal dan panjang yang konstan masing-masing $1 \mu\text{m}$

Gambar 5.2 memperlihatkan hubungan antara perubahan lebar resonator dengan perubahan frekuensi resonansi resonator. Peningkatan lebar resonansi tidak terlalu memberi pengaruh yang begitu besar terhadap perubahan frekuensi resonansi walaupun terlihat bahwa ada kecenderungan semakin lebar batang resonator maka frekuensi resonansi semakin menurun, hal ini disebabkan karena arah getaran yang terjadi searah sumbu z sehingga faktor lebar resonator tidak terlalu berpengaruh.

Variasi panjang batang resonator dengan kondisi lebar, tebal, jarak antara batang resonator dan elektroda serta bahan resonator tetap terlihat pada Gambar

5.3. Dari grafik perubahan panjang resonator terhadap perubahan frekuensi resonansi terlihat bahwa semakin pendek batang resonator maka frekuensi resonansi resonator semakin tinggi. Pengaruh ini terjadi sesuai dengan hubungan persamaan 3.4 dengan persamaan konstanta pegas *cc- beam* resonator arah sumbu *z* pada sub bab 3.3.2 dimana frekuensi resonator akan berbanding terbalik dengan kuadrat panjang resonator.



Gambar 5.3 Grafik variasi panjang resonator polysilicon dengan tebal dan lebar yang konstan masing-masing 1 µm dan 0,7 µm

5.2 Model Resonator

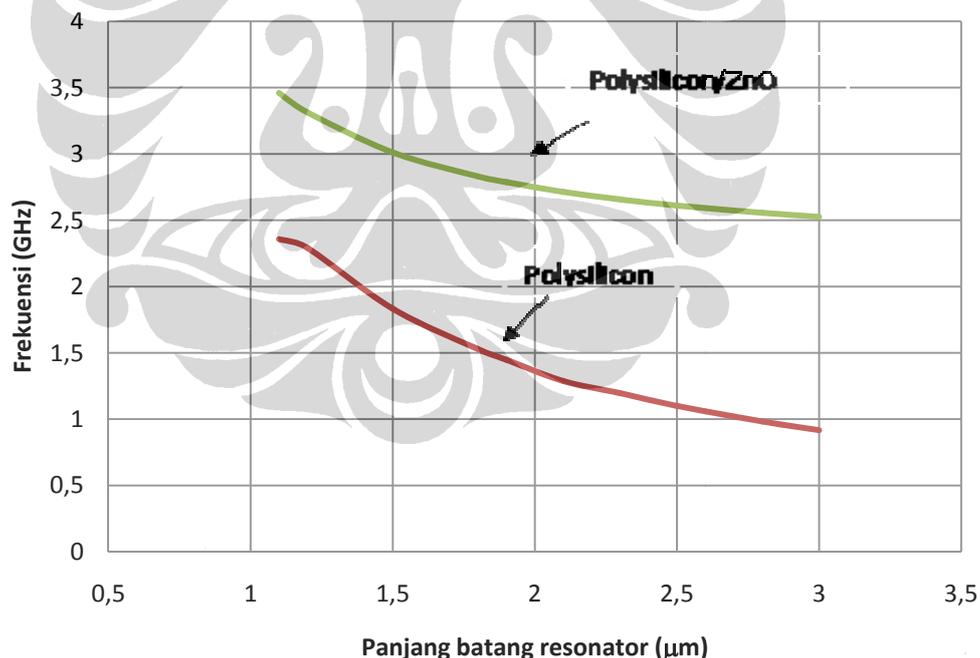
Model dan bahan yang digunakan sebagai pembentuk resonator sangat berpengaruh terhadap frekuensi resonansi. Dalam penelitian ini dilakukan percobaan rancangan filter dengan menggunakan bahan dari polysilicon yang memiliki Modulus Young (E) sebesar 169 GPa dan kerapatan massa ρ (*density*) sebesar $2,32 \text{ g/cm}^3$.

Tabel 5.1 Simulasi frekuensi tengah resonansi resonator berbahan PolySilicon

No	E(GPa)	ρ (g/cm ³)	Lebar (Wr) (μm)	Panjang (Lr) (μm)	Tebal (Hr) (μm)	Frekuensi tengah resonansi (GHz)
1	169	2,32	10	1	1	2,003
2	169	2,32	9	1	1	2,17
3	169	2,32	8	1	1	2,243
4	169	2,32	7	1	1	2,248
5	169	2,32	6	1	1	2,256
6	169	2,32	5	1	1	2,268
7	169	2,32	4	1	1	2,284
8	169	2,32	3	1	1	2,313
9	169	2,32	2	1	1	2,252
10	169	2,32	1	1	1	2,582
11	169	2,32	0,7	3	1	0,9166
12	169	2,32	0,7	2,8	1	0,9821
13	169	2,32	0,7	2,5	1	1,0998
14	169	2,32	0,7	2,3	1	1,1956
15	169	2,32	0,7	2,1	1	1,287
16	169	2,32	0,7	1,9	1	1,447
17	169	2,32	0,7	1,8	1	1,528
18	169	2,32	0,7	1,5	1	1,833
19	169	2,32	0,7	1,2	1	2,291
20	169	2,32	0,7	1,1	1	2,358

Hasil simulasi model RSG ini diperlihatkan pada Tabel 5.1, dari tabel diketahui bahwa untuk mendapatkan frekuensi tengah resonansi 2,358 GHz ukuran resonator tebal $0,7 \mu\text{m}$, panjang $1,1 \mu\text{m}$ dan tebal $1 \mu\text{m}$ dengan jarak antara batang resonator dengan elektroda (*gap*) 50 nm .

Dalam kenyataan ukuran resonator yang seperti ini ($1,1 \mu\text{m} \times 0,7 \mu\text{m} \times 1 \mu\text{m}$) sulit dalam proses fabrikasi. Untuk mengatasi keterbatasan fabrikasi ini maka resonator dirancang dengan model kedua yaitu dengan membentuk batang resonator dari dua material seperti polysilicon dan piezoelektrik secara bertumpuk. Bahan piezoelektrik yang digunakan adalah *Zinc oxide* (ZnO) karena memiliki konstanta dielektrik yang stabil, resistivitas yang tinggi, memiliki modulus Young (E) yang tinggi dan bahannya mudah diperoleh [11]. Perbandingan frekuensi resonansi antara model 1 dan model 2 pada dimensi yang sama terlihat pada Gambar 5.4

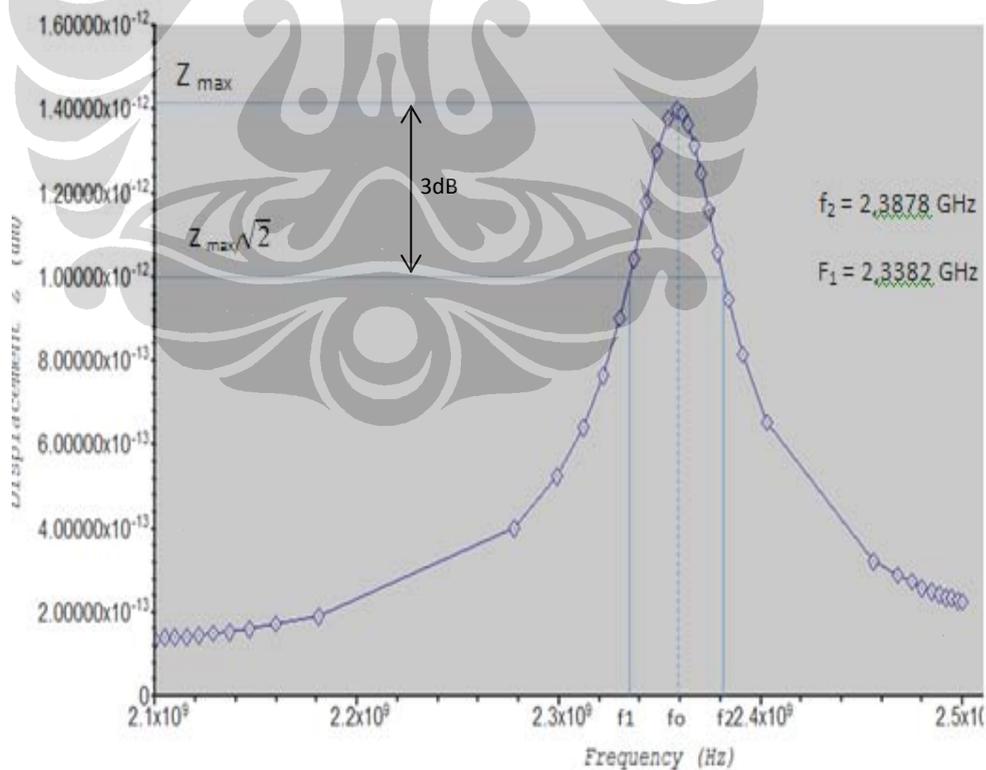


Gambar 5.4 Perbandingan frekuensi resonansi resonator polysilicon dengan resonator polysilicon/ ZnO

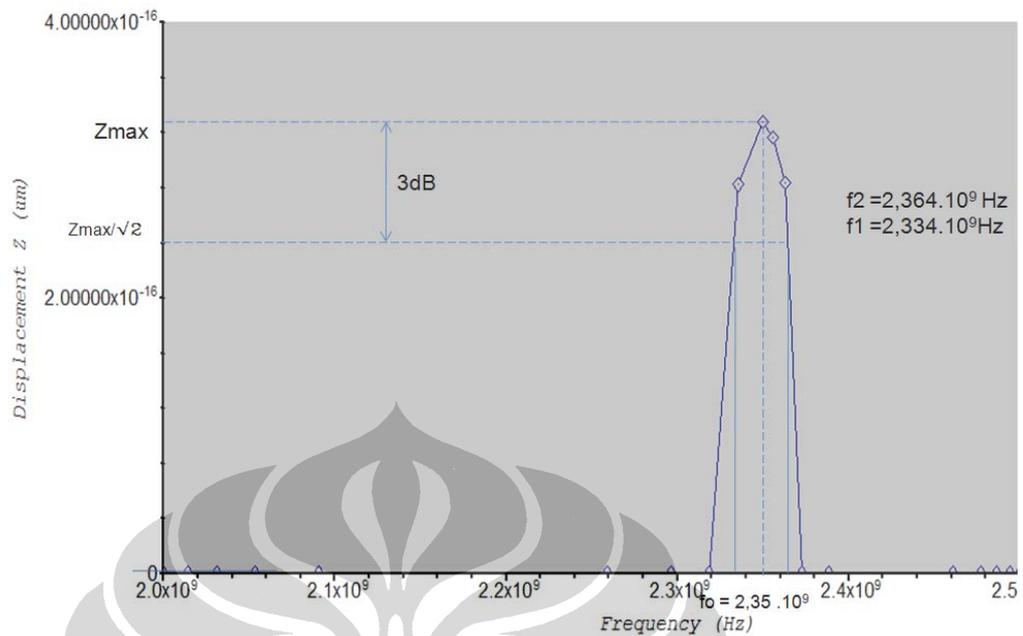
Berdasarkan hasil simulasi dimensi batang resonator model 2 pada Tabel 5.2 untuk frekuensi tengah resonansi 2,352 GHz dimensi resonator adalah lebar 0,8 μm , panjang 3,5 μm , dan tebal polysilicon dan ZnO masing-masing 0.5 μm .

Tabel 5.2 Simulasi frekuensi tengah resonansi resonator berbahan Polysilicon-ZnO

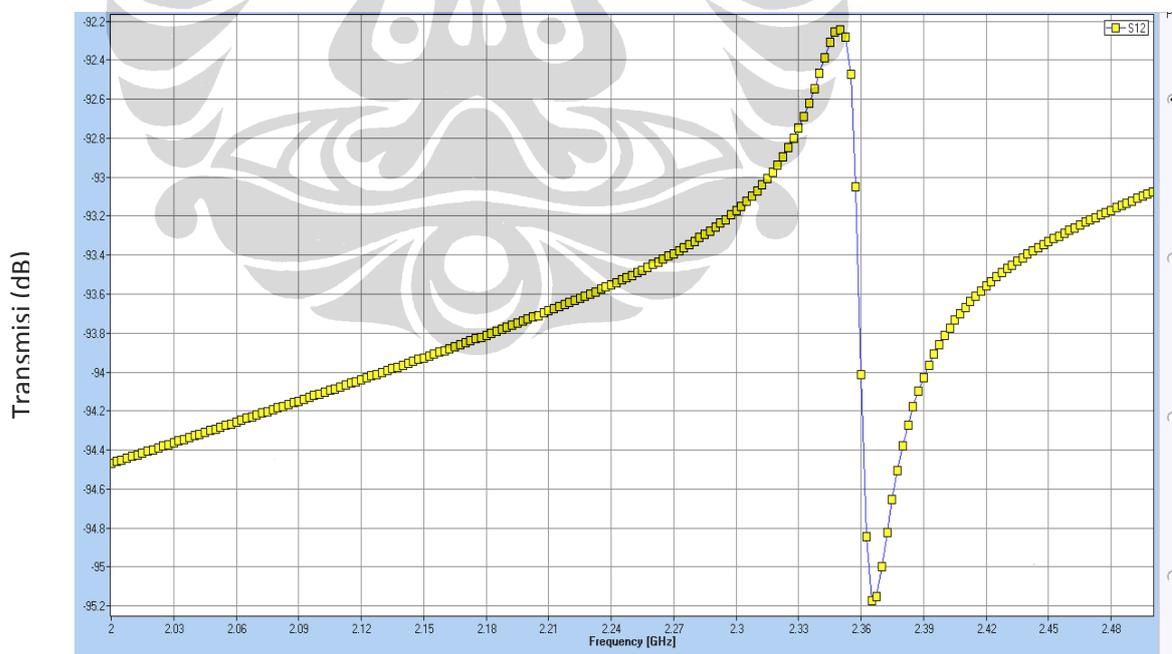
No	E (GPa)		ρ (g/cm ³)	W (μm)	L(μm)	H(μm)		Frekuensi tengah resonator (GHz)
	Polysilicon	ZnO				ZnO = PolySi	Polysilicon	
1	169	185000	2,32	0,8	3,1	0,5	0,5	2,380
2	169	185000	2,32	0,8	3,3	0,5	0,5	2,366
3	169	185000	2,32	0,8	3,4	0,5	0,5	2,340
4	169	185000	2,32	0,8	3,5	0,5	0,5	2,352
5	169	185000	2,32	0,8	3,6	0,5	0,5	2,339
6	169	185000	2,32	0,8	3,7	0,5	0,5	2,333
7	169	185000	2,32	0,8	3,8	0,5	0,5	2,334



Gambar 5.5 (a) Grafik output simulasi frekuensi dinamik resonator bandpass filter polysilicon ukuran (1,1 x 0,7 x 1 μm)



Gambar 5.5 (lanjutan) (b) Grafik output simulasi frekuensi dinamik resonator bandpass filter polysilicon/ ZnO ukuran lebar $0,8 \mu\text{m}$, panjang $3,5 \mu\text{m}$ dan tebal masing-masing $0,5 \mu\text{m}$



Gambar 5.6 Grafik parameter S12 dari resonator filter berbahan polysilicon/ZnO ukuran lebar $0,8 \mu\text{m}$ panjang $3,5 \mu\text{m}$ dan tebal masing-masing $0,5 \mu\text{m}$.

Untuk mengoptimalkan faktor aktuasi dan deteksi dan juga mencocokkannya dengan skala resonator maka dimensi mosfet disesuaikan dengan dimensi resonator yang dibentuk yaitu untuk model 1 ($0.7 \mu\text{m} \times 0.7 \mu\text{m}$) dan untuk resonator filter model 2 ($3.3 \mu\text{m} \times 0.8 \mu\text{m}$). Parameter dari rancangan filter diperlihatkan pada Tabel 5.1

Tabel 5.3 Karakteristik rancangan BPF RSG MOSFET

Parameter	Resonator		Unit
	Model 1	Model 2	
Material CC-resonator	PolySilicon	Polysilicon - ZnO	
Panjang batang resonator, L_r	1.1	3.5	μm
Lebar batang resonator W_r	0.7	0.8	μm
Tebal resonator, H	1	$H_{\text{ZnO}} : 0.5$ $H_{\text{polySi}} : 0.5$	μm
Dimensi MOSFET W/L	0.7/0.7	3.1/0.8	μm
Tebal lapisan oxide (SiO_2) MOSFET, t_{ox}	20	20	nm
Modulus Young, E	$E_{\text{polySi}} : 169$	$E_{\text{ZnO}} : 185000$	GPa
Lebar <i>gap</i> , d	50	50	nm
Simulasi frequency resonansi	2.358	2.352	GHz
Bandwith	49,6	30,4	MHz

Berdasarkan hasil simulasi keluaran frekuensi dinamik resonator seperti terlihat pada Gambar 5.5 dapat disimpulkan bahwa perpindahan maksimum batang resonator (*displacement*) terjadi pada frekuensi tengah resonansi. Dimana telah dijelaskan dalam analogi rangkaian ekivalen mekanikal dan elektrikal output dari rangkaian mekanikal adalah *displacement* maka secara analisis mekanik maka bandwith dari filter adalah :

- a. Bandwith resonator filter model 1 adalah :

$$\begin{aligned}
 B_{w-3\text{dB}} &= f_2 - f_1 \\
 &= 2,3878 \text{ GHz} - 2,3382 \text{ GHz} \\
 &= 0,0496 \text{ GHz} \\
 &= 49,6 \text{ MHz}
 \end{aligned}$$

b. Bandwith resonator filter model 2 adalah :

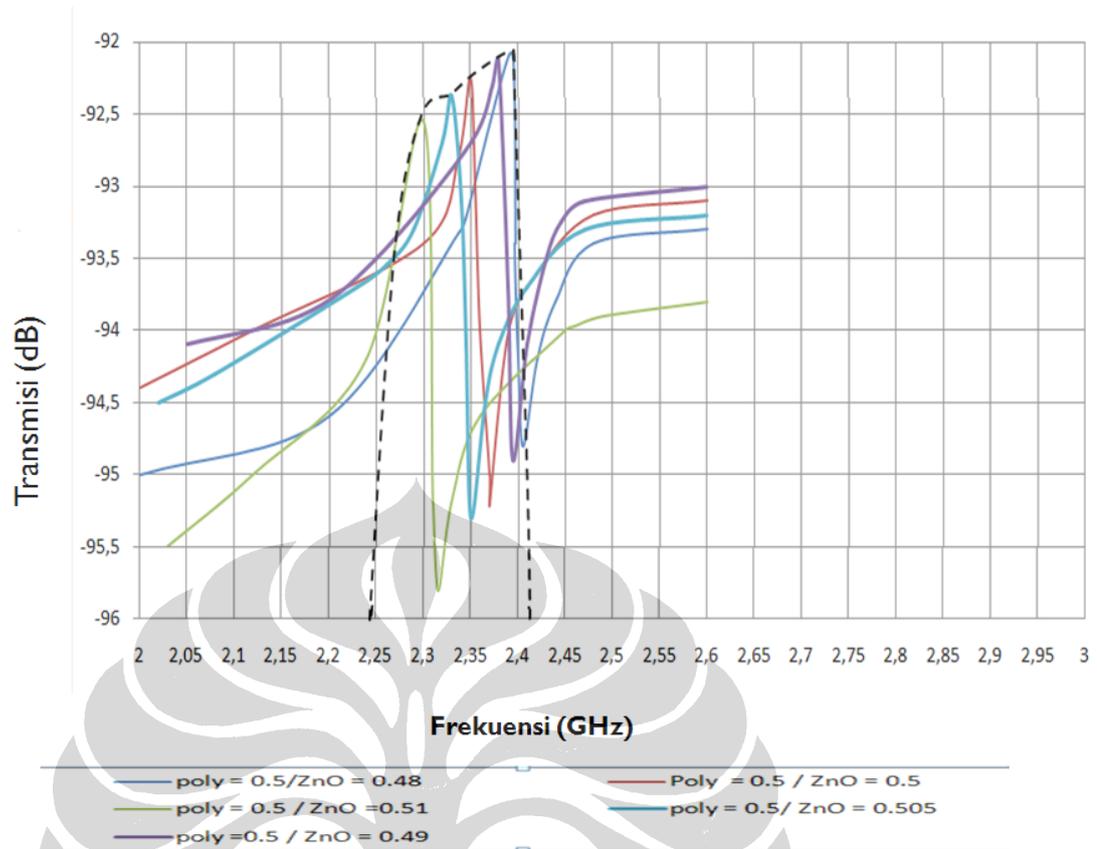
$$\begin{aligned}
 B_{w-3dB} &= f_2 - f_1 \\
 &= 2,3645 \text{ GHz} - 2,3341 \text{ GHz} \\
 &= 0,0304 \text{ GHz} \\
 &= 30,4 \text{ MHz}
 \end{aligned}$$

Dari karakteristik frekuensi keluaran dynamic dapat dilihat kecuraman resonator dari kedua model terlihat bahwa resonator 2 memiliki karakteristik kecuraman yang lebih tajam dibanding dengan model 1 panjang dan lebar yang lebih besar, sehingga lebih mudah untuk dipabrikasi maka untuk implementasi resonator MEMS *suspended Gate* sebagai resonator *bandpass filter* WiMAX frekuensi 2,3 GHz digunakan model 2, dan untuk mencapai *bandwith* 100 MHz maka harus menggunakan lebih dari satu filter membentuk suatu bank filter dengan tambahan komponen switch RF sebagai selector seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1b . Bank filter yang dibentuk terdiri dari 5 filter dengan resonator model 2 dengan ukuran seperti diperlihatkan Tabel 5. 4 dengan respon resonator filter ditunjukkan pada Gambar 5.6

Tabel 5.4 Bank Filter

Filter	Resonator		
	L (μm)	W (μm)	H (μm)
A	3,5	0,8	Polysilicon : 0.5 ZnO : 0.48
B	3,5	0,8	Polysilicon : 0.5 ZnO : 0.49
C	3,5	0,8	Polysilicon : 0.5 ZnO : 0,5
D	3,5	0,8	Polysilicon : 0.5 ZnO : 0,505
E	3,5	0,8	Polysilicon : 0.5 ZnO : 0,51

Berdasarkan keluaran dari analisis simulasi elektromagnetik diperoleh parameter S, dari grafik S_{12} terlihat bahwa tanggapan amplitudo resonator sangat kecil , hal ini sebabkan karena resonator yang digunakan sangat kaku sehingga *displacementnya* sangat kecil yang menyebabkan perubahan kapasitansi sangat kecil.



Gambar 5.6 Grafik transmisi bank filter

Karena penulis tidak membahas mengenai perancangan bagian MOSFET diharapkan dengan penelitian selanjutnya perancangan MOSFET sebagai penguat dapat dilakukan untuk dapat membentuk bandpass filter+LNA *mobile WiMAX* .