

BAB 2

TINJAUAN PERANCANGAN MEMS *MIXER-FILTER*

2.1 Pendahuluan

Dengan munculnya teknologi MEMS, mulai banyak penelitian yang dilakukan mengenai *mixer-filter*. *Mixer* dan *filter* yang mempunyai fungsi masing-masing dapat disatukan dengan teknologi MEMS sehingga menghasilkan sebuah perangkat baru dengan ukuran yang kecil dan membuat konsumsi daya buat perangkat tersebut menjadi lebih kecil. Evolusi teknologi MEMS dengan *micromechanical resonator* memberi banyak peluang untuk mendesain *mixer-filter* yang lebih selektif sehingga tercipta suatu miniature komponen dan integrasi *on-chip* dengan component IC lain [8]. Selain lebih praktis dibanding dengan komponen diskrit, *resonator* memiliki kemampuan untuk mengkonversi frekuensi (*mixing*) dan switching serta konsumsi daya DC yang sangat kecil praktis mendekati nilai nol sehingga memberikan keuntungan dalam penghematan daya [10].

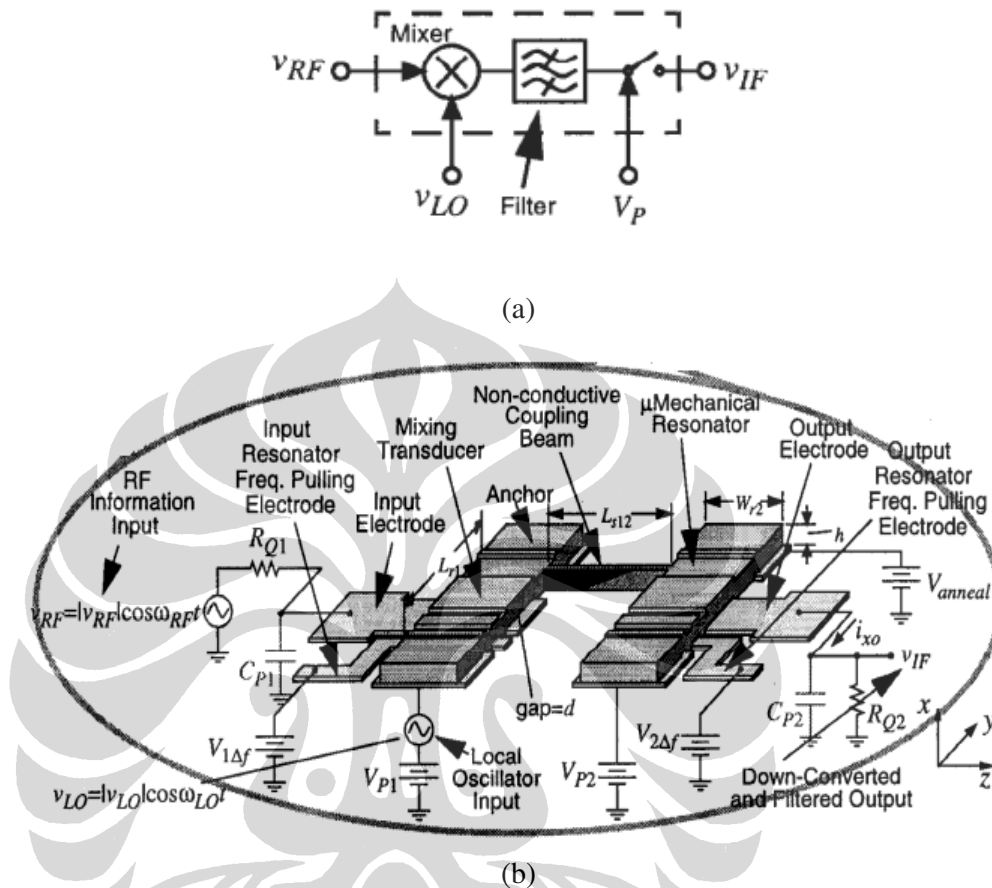
MEMS *mixer-filter* mengeksplorasi non linearitas dari gaya elektrostatik dengan *drive voltage* dalam *micromechanical resonator*, kemudian mengkonversi turun sinyal masukan RF (GHz) menjadi sinyal keluaran IF (MHz) yang telah *filter*. Pada dasarnya, fungsi *me-reject* frekuensi pada mixer dan fungsi *filter* dicapai secara bersamaan sewaktu sinyal RF melewati *micromechanical resonator* [9].

2.2 *Micromechanical Mixer-Filters*

Perancangan ini pertama kali dipublikasikan oleh Ark-Chew Wong, Hao Ding dan Clark T.-C. Nguyen dari *Center for Integrated Sensors and Circuits, Departement for Electrical Engineering and Computer Science, University of Michigan* pada tahun 1998. Dari rancangan yang telah di uji coba, *mixer-filter* dapat melakukan *downconversion* frekuensi RF dari 40-200 MHz menjadi frekuensi IF sebesar 27 MHz [5].

Desain dari *micromechanical mixer-filter* dapat dilihat pada Gambar 2.1. Dimana pada gambar tersebut terdapat 2 buah *resonator* yang ukurannya sama,

nonconductive coupling bar diantara kedua *resonator* tersebut, masukan elektroda dan keluaran elektroda.

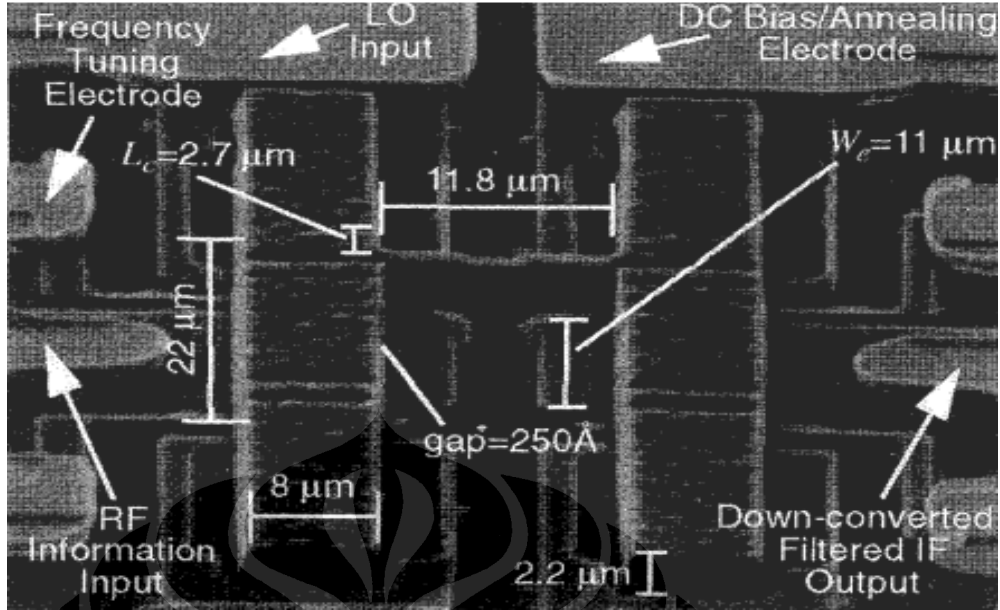


Gambar 2.1 *Micromechanical mixer-filter* I (a) skema *mixer-filter* I (b) desain MEMS [5]

Dimensi dari *micromechanical mixer-filter* I yang dirancang dapat dilihat pada Tabel 2.1 dan untuk lebih jelasnya dapat juga dilihat pada Gambar 2.2.

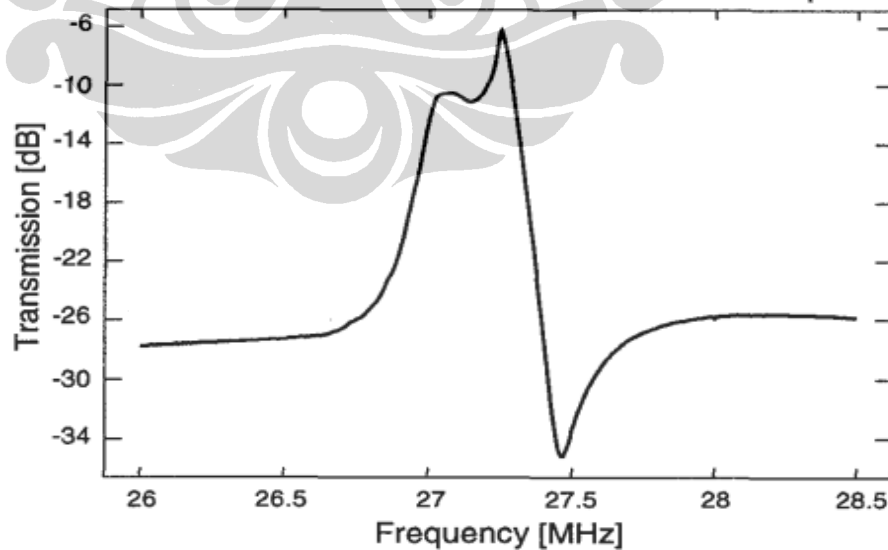
Tabel 2.1 Dimensi *micromechanical mixer-filter* I [5]

Parameter	Nilai	Unit
Panjang Resonator Beam, L_r	22	μm
Lebar Resonator Beam, W_r	8	μm
Ketebalan Resonator, h_r	2.2	μm
Lokasi Coupling, L_c	2.7	μm
Panjang Coupling Beam, L_s	11.8	μm
Lebar Coupling Beam, W_s	0,025	μm



Gambar 2.2 Dimensi *micromechanical mixer-filter I* [5]

Bahan material yang digunakan untuk *micromechanical mixer-filter I* ini adalah *poly-silicon (poly-si)*. Pertimbangannya adalah karena *poly-si* harganya murah dan mudah dalam proses pabrikasinya. Gambar 2.3 memperlihatkan grafik keluaran spektrum dari hasil pengukuran yang telah dilakukan dan hasil lebih lengkap dari perancangan ini dapat dilihat pada Tabel 2.2.

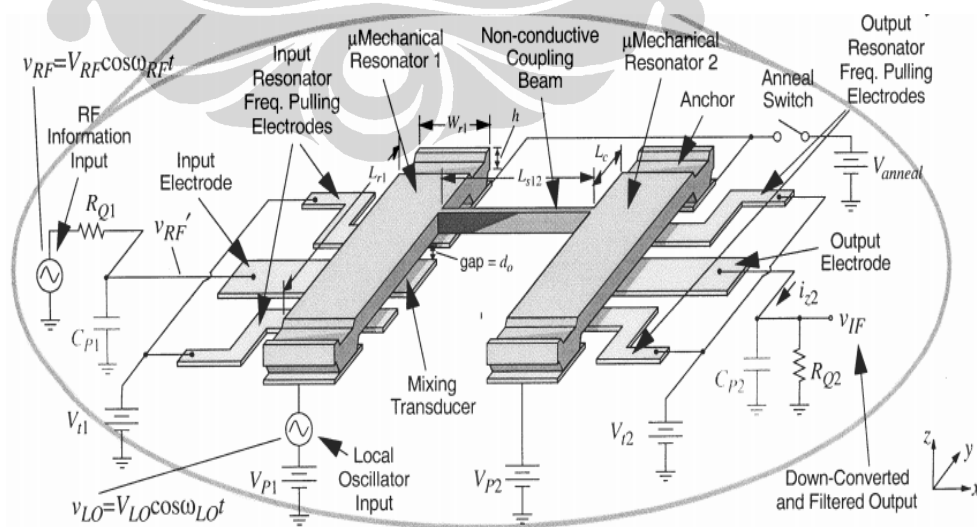


Gambar 2.3 Grafik frekuensi *micromechanical mixer-filter I* [5]

Tabel 2.2 Data evaluasi *micromechanical mixer-filter I* [5]

Parameter	Nilai	Unit
Massa μ Resonator @ I/O, m_r	3.54×10^{-11}	kg
μ Resonator Stiffness @ I/O, k_r	10,194	N/m
Coupling Beam Stiffness, k_{s12}	1,206	N/m
Electrode ke Resonator Overlap	88	μm^2
Electrode ke Resonator Gap, d	300	Å
Electromechanical Coupling, η_e	1.12×10^{-5}	C/m
IF Center Frequency	27	MHz
IF Filter Bandwidth	233	kHz
20 dB-down Shape Factor	2.65	-
Filter Insertion Loss	6	dB
Mixer Conversion Loss	9	dB
LO to IF Isolation ($f_{LO}=13$ MHz)	13	dB
LO to RF Isolation ($f_{LO}=13$ MHz)	13.5	dB
RF to IF Isolation ($f_{RF}=42$ MHz)	16	dB
$ v_{RF} $ (swept dari 37-42 MHz)	-15	dBm
$ v_{LO} $ (13 MHz)	5.5	V
Resonator DC-Bias, V_p	21	V

Dari rancangan pertama di atas, kemudian Ark-Chew Wong dan Clark T.-C. Nguyen [6] kembali membuat bentuk rancangan yang hampir sama tetapi mempunyai frekuensi IF yang berbeda seperti pada Gambar 2.4. Untuk menghasilkan frekuensi IF yang berbeda dari rancangan pertama, maka dimensi dari *resonator* di ubah. Untuk lebih jelas mengenai dimensi secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 2.3.

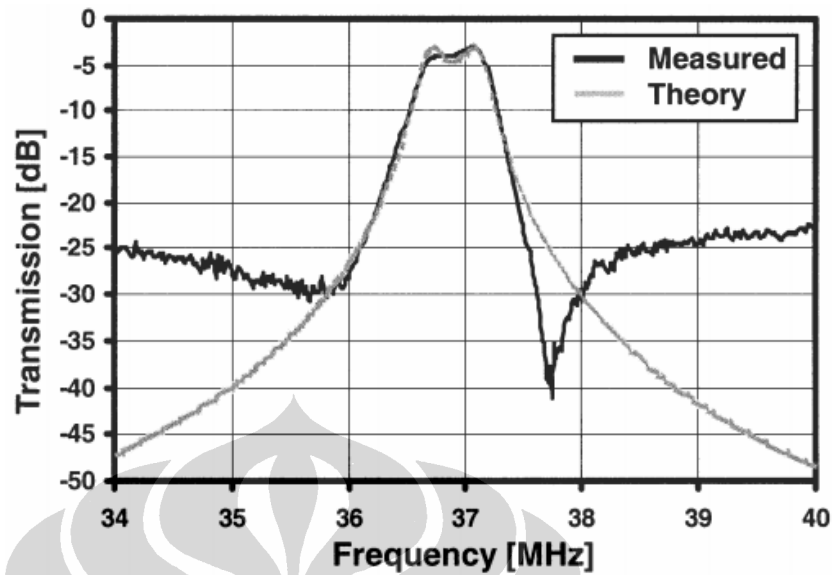
Gambar 2.4 *Micromechanical mixer-filter II* [6]

Tabel 2.3 Dimensi *micromechanical mixer-filter II* [6]

Parameter	Nilai		Unit
	Desain	Input/Simulasi	
Panjang Resonator Beam, L_r	18.8	18.8	μm
Lebar Resonator Beam, W_r	8	8	μm
Ketebalan Resonator, h_r	2.1	2.1	μm
Lokasi Coupling, L_c	2.7	3.1	μm
Panjang Coupling Beam, L_{s12}	12.3	12.3	μm
Lebar Coupling Beam, W_{s12}	1.5	1.5	μm
Ketebalan Coupling Beam, h_{s12}	2.1	2.1	μm
Gap antara electrode dan Resonator, d	325	325	\AA
Lebar I/O Electrode, W_e	8	8	μm
Tepi Tuning Electrode 1, L_{t11}, L_{t12}	3, 4.4 14.4,	3, 4.4	μm
Tepi Tuning Electrode 2, L_{t21}, L_{t22}	15.8	14.4, 15.8	μm
Modulus Young, E	150	150	GPa
Rasio Poisson, ν	0.226	0.226	-
Resonator Stiffness, $k_{re}(y=L_r/2)$	-	12,786	N/m
Massa Resonator, $m_{re}(y=L_r/2)$	-	0.237	ng
Coupling beam stiffness, k_{s12}	-	3	N/m

Terdapat perbedaan yang mendasar pada panjang *resonator beam* dari perancangan pertama dan perancangan kedua. Pada perancangan kedua mempunyai panjang yang lebih pendek dibandingkan dengan perancangan pertama. Dapat sedikit diambil kesimpulan bahwa untuk mendapatkan frekuensi IF yang lebih besar maka panjang dari *resonator beam* akan lebih pendek dibandingkan dengan *resonator* yang mempunyai frekuensi IF yang kecil.

Grafik hasil dari rancangan yang kedua ini dapat dilihat pada Gambar 2.5 dan untuk lebih jelasnya juga dapat dilihat pada Tabel 2.4.

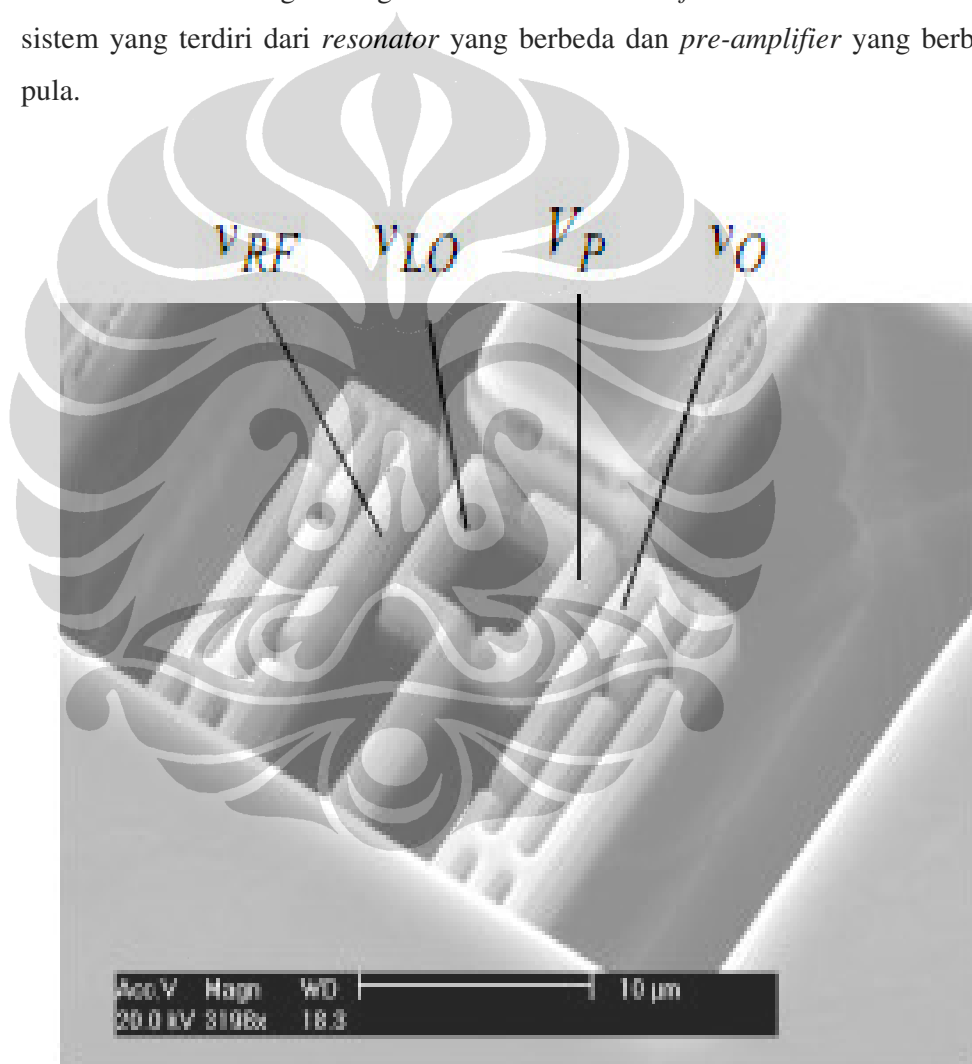
Gambar 2.5 Grafik frekuensi *micromechanical mixer-filter* II [5]Tabel 2.4 Hasil perancangan *mixer-filter* II [6]

Parameter	Nilai		Unit
	Pengukuran	Simulasi	
Local Oscillator Frequency, f_{LO}	200	200	MHz
P_{LO} dalam pengukuran, P_{Lom}	15	15	dBm
V_{LO} dalam pengukuran, V_{Lom}	3.56	3.56	V
V_P dalam pengukuran, V_{Pm}	11	11	V
Range Frekuensi RF, f_{RF}	233-242	233-242	MHz
PRF dalam pengukuran, P_{RFm}	-10	-10	dBm
V_{RF} dalam pengukuran, V_{RFm}	0.1	0.1	V
Tegangan tuning frekuensi, V_{t1}	0	0	V
Tegangan tuning frekuensi, V_{t2}	8	8	V
Terminasi Resistor 1, R_{Q1}	5	7	k Ω
Terminasi Resistor 2, R_{Q2}	5	7	k Ω
Pull in Voltage, V_{PI}	24	20.4	V
Faktor Q Resonator, Q	550	500	-
Resistansi Resonator Seri, R_z	8.67	3.15	k Ω
Frekuensi Filter, f_0 ($V_P=V_{PM}$)	37	37	MHz
Bandwidth Filter, B	630	603	kHz
Persentase Bandwidth, (B/f_0)	1.70	1.63	%
Filter 20 dB Shape Factor, S	2.19	2.5	-
Filter Insertion Loss, L_{fltr}	3.5	3.5	dB
Conversion Loss ($f_{LO}=200$ MHz), L_{conv}	9.5	9.46	dB
Combined Conv.-Ins. Loss, F	13	12.96	dB
LO ke Isolasi IF ($f_{LO}=200$ MHz)	39	-	dB
LO ke Isolasi RF ($f_{LO}=200$ MHz)	29.4	-	dB
RF ke Isolasi IF ($f_{RF}=237$ MHz)	44	-	dB

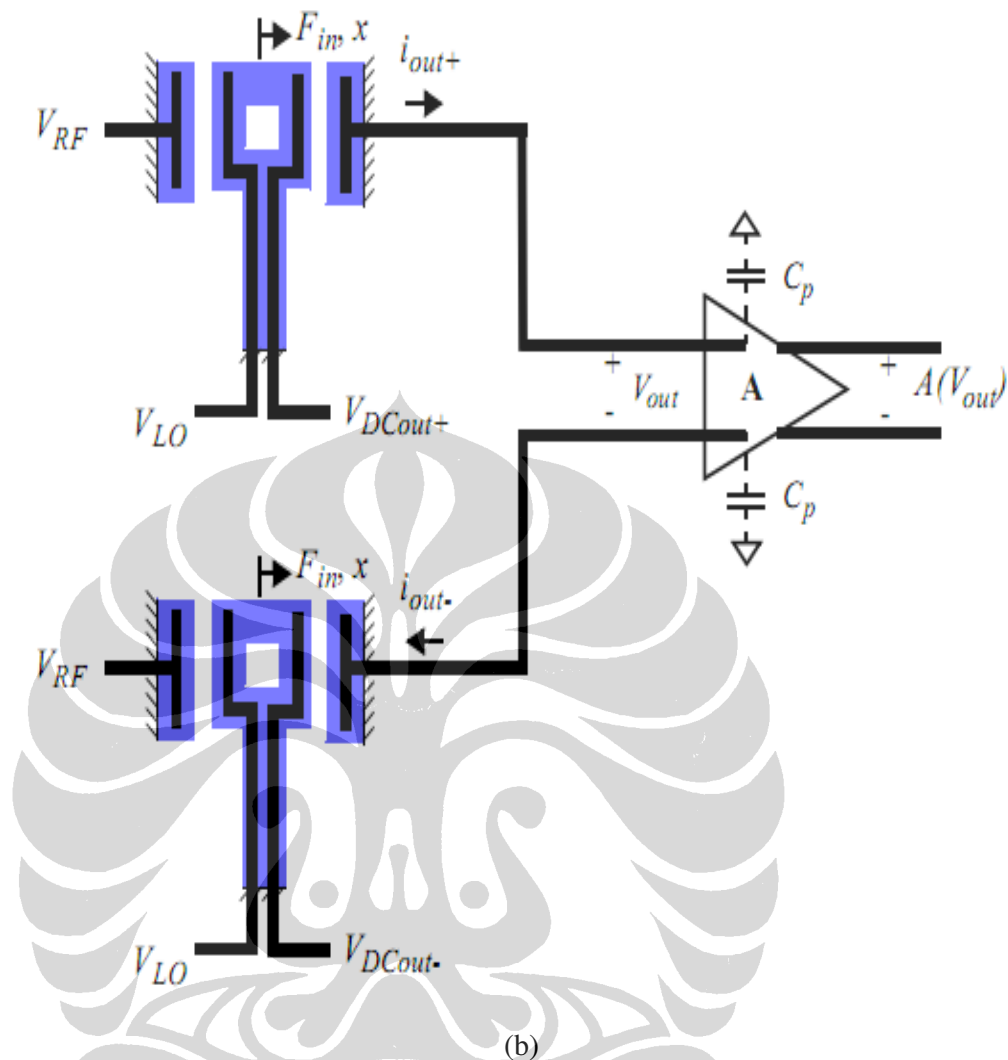
2.3 CMOS-MEMS *Downconversion Mixer-Filter*

Perancangan ini dipublikasikan oleh Umur Arslan dari *Department of Electrical & Computer Engineering, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, Pennsylvania, USA* pada bulan Desember 2005. Rancangan ini merupakan penggabungan dari CMOS dan MEMS sehingga *downconversion mixer-filter* dapat terjadi [9].

Desain dari CMOS-MEMS *downconversion mixer-filter* dapat dilihat pada Gambar 2.5. Masing-masing CMOS-MEMS *mixer-filter cell* didesain sebagai sistem yang terdiri dari *resonator* yang berbeda dan *pre-amplifier* yang berbeda pula.



(a)



Gambar 2.6 (a) CMOS-MEMS *downconversion mixer-filter* [8] (b) CMOS-MEMS dalam pengukuran [9]

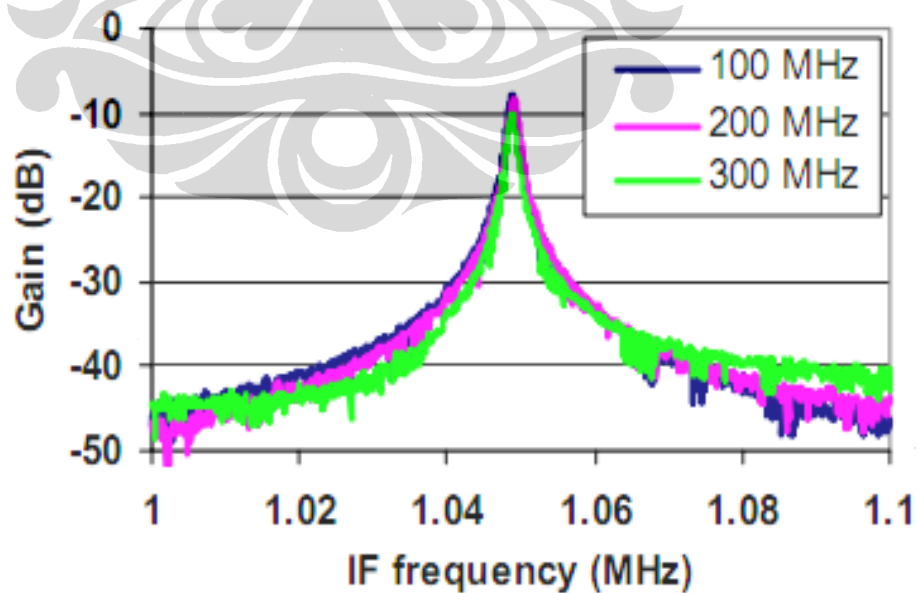
Susunan yang dirancang dan dipabrikasi terdiri dari serangkaian *mixer-filter* yang berbeda yang masing-masing ukurannya diubah untuk mendapatkan kombinasi yang unik dari frekuensi resonansi tertentu dan kerenggangan ruang (*gap spacing*). Desain menggunakan 8 buah frekuensi resonansi yang berbeda (dari ~500 kHz hingga ~1.2 MHz dengan jarak ~100 kHz setiap langkahnya) dan 2 buah *gap spacing* yang berbeda (0.5 dan 0.8 μm) yang berjumlah total 16 buah kombinasi.

Dimensi dari μ mechanical resonator yang telah diuji dalam rancangan CMOS-MEMS *mixer-filter* dapat dilihat pada Tabel 2.5.

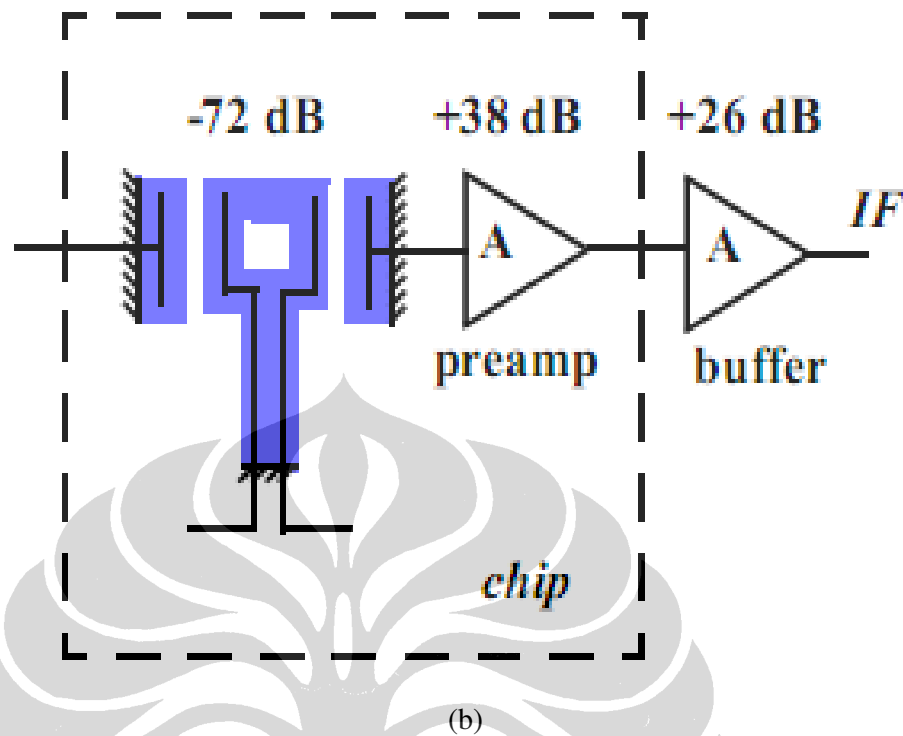
Tabel 2.5 Dimensi dari *mixer-filter* yang telah diuji, l_c : panjang *cantilever*, l_e : panjang *electrode*, w_c : lebar *cantilever*, w_e : lebar *electrode*, g : *transducer gaps* [9]

	Desain (μm)	Pengukuran (μm)
l_c	21.5	20.1
w_c	1	1.5
l_e	7	7.5
w_e	1	1.6
g	0.8	0.8

Untuk melakukan pengukuran hasil output dari *mixer-filter* digunakan 3 buah frekuensi LO yang berbeda yaitu 100, 200 dan 300 MHz dan frekuensi *swept* RF dari $f_{LO}+1$ hingga $f_{LO}+1.1$ MHz. Sistem merespon dengan menghasilkan titik puncak sebesar 1.05 MHz seperti dilihat pada gambar 2.6 (a) dengan total gain sebesar -8 dB, dimana distribusi antara blok-blok sistem dilihat pada gambar 2.6 (b). Gain yang disediakan oleh amplifier memberikan *mixer-filter conversion-insertion loss* sebesar 72 dB.



(a)



Gambar 2.7 (a) Sistem pengukuran gain 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 gain antara blok-blok sistem [9].

Hasil lebih lengkap dari perancangan ini dapat dilihat pada Tabel 2.6 yang terdiri atas hasil analisa, simulasi dan pengukuran. Pengukuran hanya dilakukan pada frekuensi IF (f_{IF}) yang dihasilkan, *bandwidth* -3dB (Δf_{-3dB}), *conversion-insertion gain* (G_{c-i}) dan *mixer + preamplifier gain* (G_{sys}) [9].

Tabel 2.6 Hasil perancangan CMOS-MEMS *downconversion mixer-filter* [9]

	Hasil Analisa	Hasil Simulasi	Hasil Pengukuran
f_{IF}	1.03 MHz	1.18 MHz	1.05 MHz
Δf_{-3dB}	1.3 kHz	1.5 kHz	1.3 kHz
G_{c-i}	-68 dB	-72 dB	-72 dB
G_{sys}	-	-34 dB	-34 dB
NF	88 dB	85 dB	-
NF_{sys}	-	102 dB	-
V_{IP3}	88 dB	-	-