

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA MEMS RESONATOR UNTUK APLIKASI OSILATOR

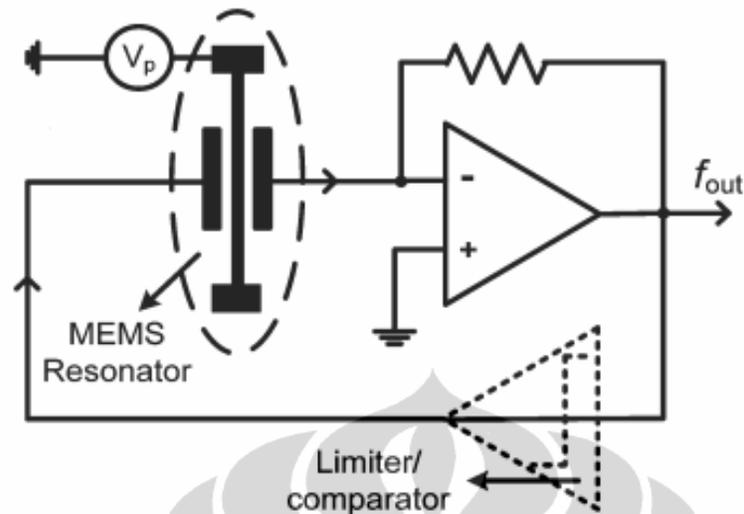
2.1 *MICRO-ELECTRO MECHANICAL SYSTEM (MEMS)*

Micro Electromechanical Systems, merupakan integrasi dari elemen mekanik, sensor, actuator, dan komponen elektronik yang dikemas dalam single chip substrate silikon dengan menggunakan mikro-fabrikasi. *Microsensor* mendeteksi perubahan lingkungan sistem melalui pengukuran mekanik. *Microelectronics/ASIC* memproses informasi dan signal, sedangkan *microactuator* melakukan reaksi dan membuat bentuk perubahan kepada lingkungan [6].

Komponen elektronik difabrikasi dengan menggunakan tahapan teknologi proses yang biasa digunakan dalam proses pabrikasi IC (*Integrated Circuit*), sedangkan komponen MEMS difabrikasi dengan menggunakan teknologi *micromachining* yang akan membuang bagian wafer silikon yang terseleksi maupun menambahkan layer struktural mekanikal baru. [6]

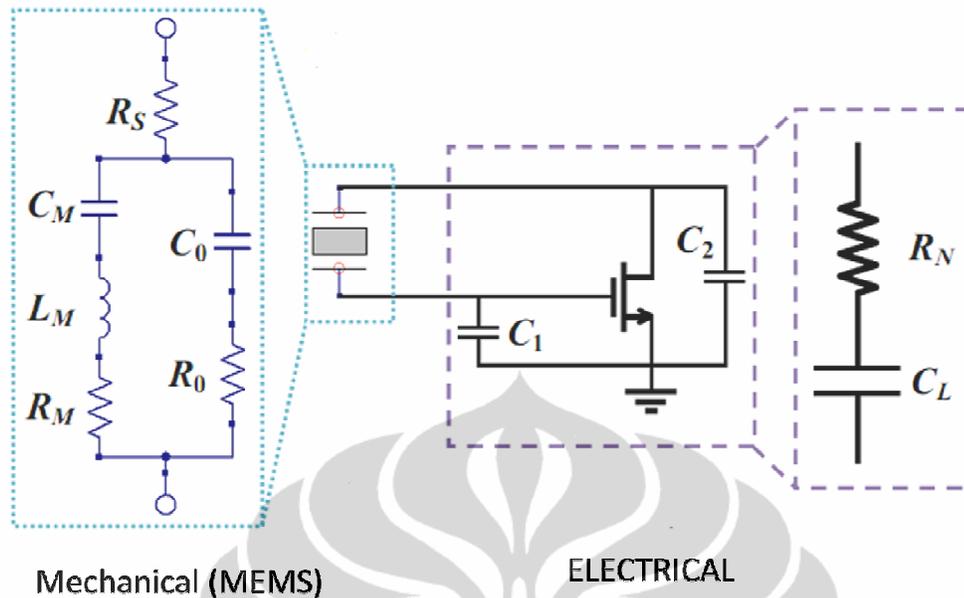
2.2 MEMS OSILATOR UNTUK OSILATOR

Sebuah osilator MEMS sederhana dapat dibangun dengan menggunakan rangkaian yang ditunjukkan pada gambar 2.1. [7,8]. Resonan balok perlu dipolarisasi pada V_p . Selama getaran, balok menghasilkan resonan gerakan arus di salah satu elektroda. Arus ini mengalir dan diumpun balik ke elektroda lain atau melalui pembanding untuk menghasilkan gaya elektrostatik. Jika gain dan kriteria fase terpenuhi, resonan balok akan berosilasi sampai amplitudonya distabilkan dengan cepat oleh nonlinier dalam mekanik struktur atau dalam *loop* rangkaian.[7]



Gambar 2.1 Tipikal MEMS osilator umpan balik langsung [7,8].

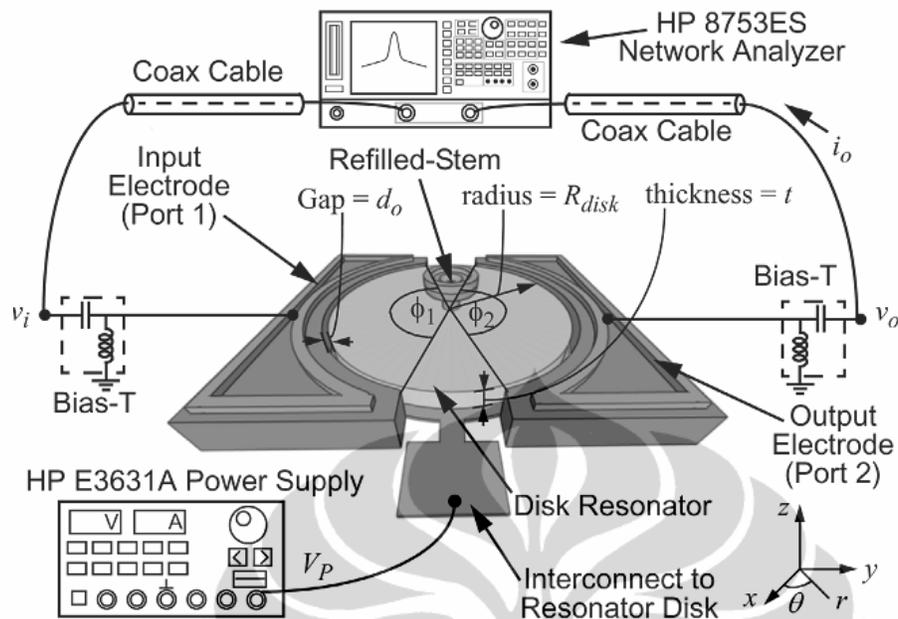
Penguat sederhana dalam teknologi CMOS adalah transistor tunggal NMOS. Jika sebuah resonator dihubungkan antara *drain* dan *gate* transistor, jalur umpan balik diciptakan dari output (*drain*) ke input (*gate*) dari penguat, yang membentuk sebuah osilator tiga poin dasar. Tergantung pada simpul yang ditanahkan, tiga variasi sirkuit dapat dibangun, yang disebut rangkaian osilator 'Pierce', 'Colpitts' dan 'Santoss'. Rangkaian osilator Pierce dengan konfigurasi salah satu sumber ditanahkan dan juga merupakan topologi yang paling sering digunakan untuk osilator kristal kuarsa karena kinerja yang sangat baik dalam stabilitas dan reliabilitas [9]. Sejak resonator piezoelektrik AIN mode kontur dapat dianggap sebagai mitra MEMS dari kristal kuarsa *bulk acoustic wave* (BAW) resonator, rangkaian Pierce kemungkinan besar menjadi calon yang sangat baik untuk osilator multi frekuensi berdasarkan AIN kontur-mode RF MEMS teknologi [9]. Gambar 2.2 menunjukkan tipikal rangkaian osilator Pierce.



Gambar 2.2 Tipikal rangkaian osilator yang terdiri dari bagian mekanikal (MEMS) dan bagian elektrikal [9].

2.3 STATE OF THE ART MEMS OSILATOR

Salah satu metodologi baru untuk menghasilkan faktor kualitas Q dengan metode fabrikasi yang memungkinkan pengaturan sendiri struktur mikromekanikal untuk *anchor* yang telah digunakan untuk mencapai getaran radial mode kontur polysilicon resonator mikromekanikal cakram dengan frekuensi resonansi hingga 1,156 GHz dan diukur faktor kualitas Q di frekuensi ini > 2650 baik dalam vakum dan udara. Selain itu, versi lain pada frekuensi 734,6 MHz telah ditunjukkan nilai Q berturut-turut 7.890 dan 5.160 dalam vakum dan udara. Untuk resonator ini, pengaturan sendiri *stem* tepat di pusat cakram untuk mendukung menyeimbangkan resonator yang jauh lebih unggul dari yang dicapai oleh versi sebelumnya (di mana masker terpisah digunakan untuk menentukan cakram dan *stem*), yang memungkinkan perangkat ini untuk mempertahankan Q tinggi sementara mencapai frekuensi dalam kisaran gigahertz [10]. Desain bentuk resonator cakram terlihat pada gambar 2.3.

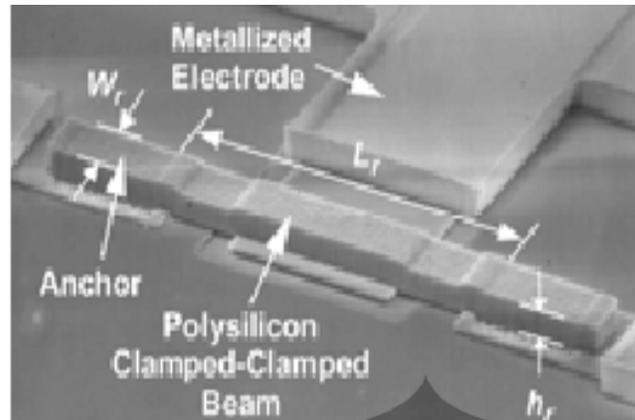


Gambar 2.3 Skema pandangan sebuah pengaturan sendiri resonator cakram. [10]

2.3.1 MEMS resonator clamped-clamped beam (CC Beam)

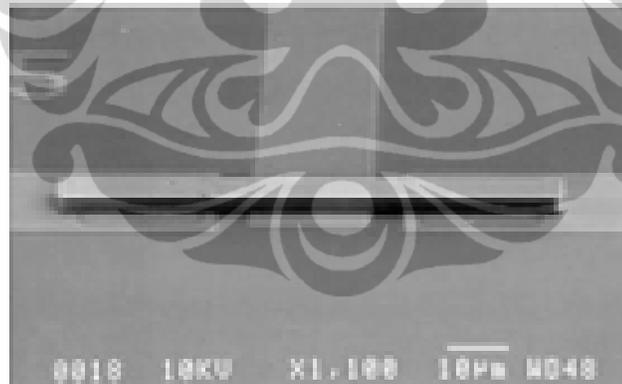
CC BEAM resonator terdiri dari dua penyangga, batang resonator yang terletak di atas elektroda. Batang resonator memiliki panjang L_r , lebar W_r dengan ketebalan h , dan terbuat dari material dengan modulus Young E dan berat jenis ρ . Elektroda memiliki lebar W_e dan d adalah jarak pemisah antara elektroda dengan batang resonator. Hasil desain *CC BEAM resonator* yang pernah dilakukan orang seperti terlihat pada gambar 2.4, 2.5 dan 2..

Polysilicon *clamped-clamped beam* adalah sebuah konsep untuk menerapkan micromechanical resonator yang tersusun tanpa elemen kopling, (gambar 2.4) menghasilkan faktor kualitas Q yang cukup besar sekitar 8000 pada frekuensi 10 Mhz dengan kondisi hampa udara, Q kira-kira 50 pada frekuensi 10 Mhz, dengan kondisi ada udara dan kira-kira 300 pada frekuensi 70 MHz dengan kondisi ada pengaruh disipasi dari angkur. Resistansi seri R_x didapat berkisar antara 5 sampai dengan 5000 ohms. Sebagai penjepit komponen balok dipilih Polysilicon dan untuk elektrodanya terbuat dari bahan logam/konduktor [11, 12].



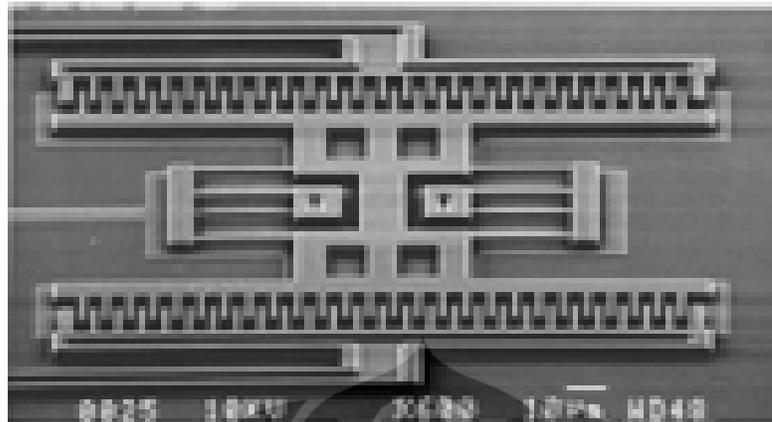
Gambar 2.4 Resonator *Clamped-Clamped Beam* dengan menggunakan Polysilicon [11, 12]

Gambar 2.5 merupakan MEMS resonator *clamped-clamped beam* juga yang menjepit 2 resonator dengan dibawahnya terdapat elektroda untuk menyalurkan sinyal (gambar 2.4), yang menghasilkan factor kualitas Q sampai 4000 pada frekuensi 10 MHz, stabilitas temperature coefficient sebesar 0,24 ppm/°C. Resonator bekerja pada rentang frekuensi 1 – 100 Mhz dan dapat digunakan untuk referensi osilator dan filter [13,12].



Gambar 2.5 Resonator *clamped-clamped beam* [13, 12]

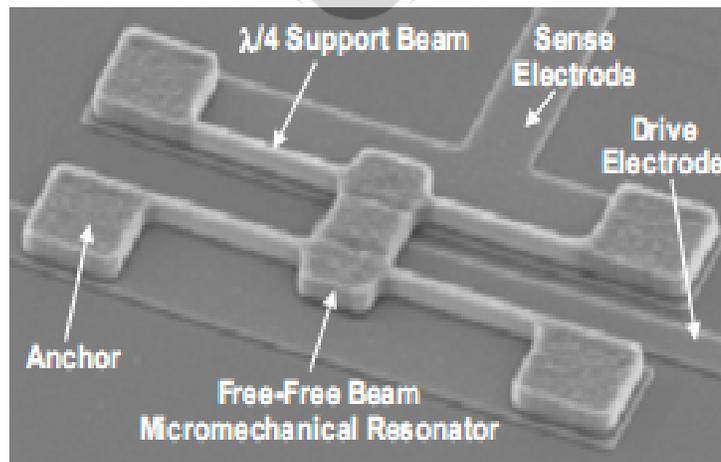
Clamped-clamped resonator yang lain berbentuk *comb-drive* yang terdiri dari 27 *finger*, dengan *comb-drive* yang simetris, menghasilkan faktor kualitas Q sekitar 80,000 pada frekuensi antar 32 kHz – 78 kHz, dengan menggunakan material nikel dan polysilicon (gambar 2.). Pabrikasi *comb-drive* menggunakan wafer pada level hampa udara. Rentang frekuensi kerja resonator ini berkisar antara 1 kHz – 1 MHz, dan sering diaplikasikan untuk real time clock (RTC) [14,5].



Gambar 2.6 Clamped-clamped beam comb-drive [14,5]

2.3.2 MEMS resonator *free-free beam (FF Beam)*.

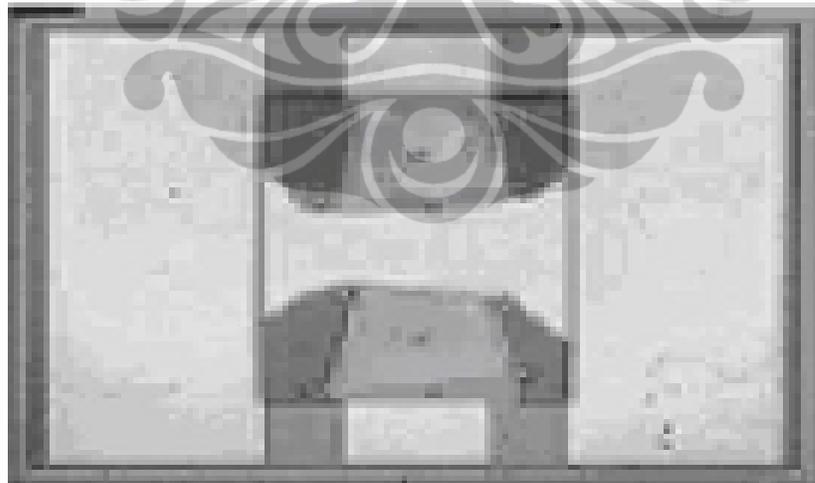
Free-free beam micromechanical resonator digambarkan pada gambar 2.7 dengan empat ankur/penyangga (*anchor*), yang dapat menghasilkan faktor kualitas Q sebesar kira-kira 20,000 pada rentang frekuensi 10 – 200 MHz, kondisi ruang hampa dan sekitar 2000 dengan kondisi ada udara. *Free-free beam* resonator dirancang (gambar 2.7) dengan ditopang oleh 4 balok pendukung dengan panjang $\frac{1}{4}\lambda$ dan kedua elektroda sebagai penggerak (*drive*) dan pengindera (*sense*). Resonator ini dapat dikembangkan sedemikian rupa, didesain sampai pada rentang frekuensi diatas 1 GHz dan resistansi serinya Rx dengan rentang 5 – 5000 ohms. Resonator ini dapat diaplikasikan untuk referensi osilator, filter dan mixler [15,12].



Gambar 2.7 Resonator free-free beam [15,12]

2.3.3 MEMS resonator FBAR

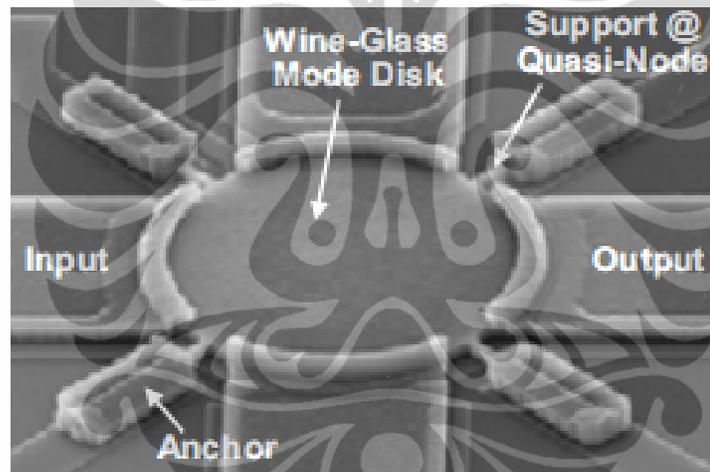
Penelitian [16] melaporkan hasil desain MEMS resonator osilator dengan teknologi film bulk acoustic resonator. *Film Bulk Acoustic Resonator* (FBAR) seperti terlihat pada gambar 2.8 adalah salah satu bentuk geometri MEMS yang menggunakan material piezoelektrik, sama dengan *bulk acoustic resonator* seperti quartz, tetapi diperkecil skalanya sehingga dapat beresonansi pada frekuensi-frekuensi orde GHz. Sinyal RF yang diaplikasikan di ujung-ujung divais menghasilkan gerak mekanis dalam piezoelektrik. Resonansi dasar dari material diamati ketika ketebalan film sama dengan setengah dari panjang gelombang sinyal input. Pada kondisi resonansi, impedansi elektris dari divais berubah secara tajam, menghasilkan kemungkinan untuk membangkitkan frekuensi resonansi yang dapat digunakan untuk osilator maupun filter penyeleksi frekuensi. Realisasi geometris MEMS ini dapat membangkitkan frekuensi sebesar 1,9 GHz dan menghasilkan faktor kualitas 2000, dengan derau fasa (*phase noise*) sebesar -112 dBc/Hz @ 10 kHz. Bentuk MEMS jenis ini dapat dieksplor membangkitkan frekuensi dengan rentang 1 – 5 GHz dan dapat diaplikasikan untuk osilator komunikasi nirkabel, seperti WiMAX.



Gambar 2.8 Resonator film bulk acoustic resonator (FBAR) [16,12]

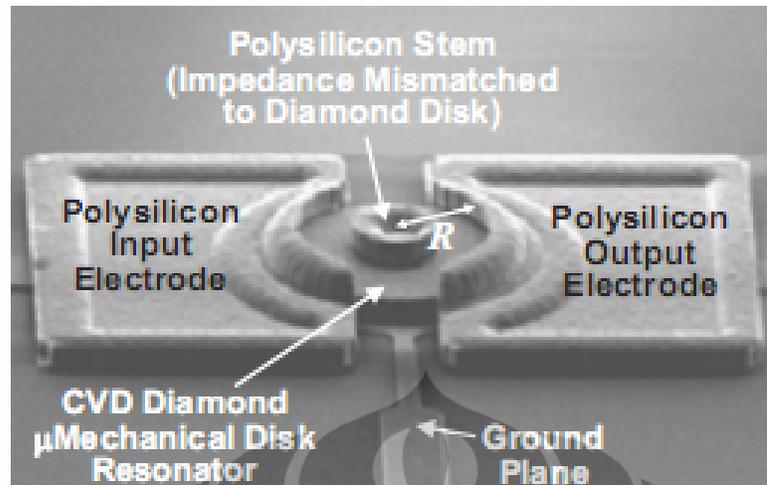
2.3.4 MEMS resonator contour mode

Contour-mode dari getaran adalah dibangkitkan pada sumbu-c piezoelektrik film melalui koefisien d_{31} piezoelektrik. Dengan menerapkan medan listrik bolak-balik melintasi ketebalan film piezoelektrik, struktur MEMS mengembang dan berkontraksi secara lateral dan dapat dibangkitkan pada getaran resonan dimana frekuensinya ditentukan oleh dimensi bidang perangkat. Bentuk disk wine glass seperti pada gambar 2.9 dapat membangkitkan frekuensi lebih dari 1 GHz, dengan factor kualitas Q sebesar 156,000 pada frekuensi 60 MHz, ruang hampa dan 8000 pada frekuensi 98 MHz dengan kondisi non hampa udara. Resistansi seri R_x berkisar 5 – 5000 ohms dan dapat diaplikasikan untuk pembuatan referensi osilator dan filter [17, 12].



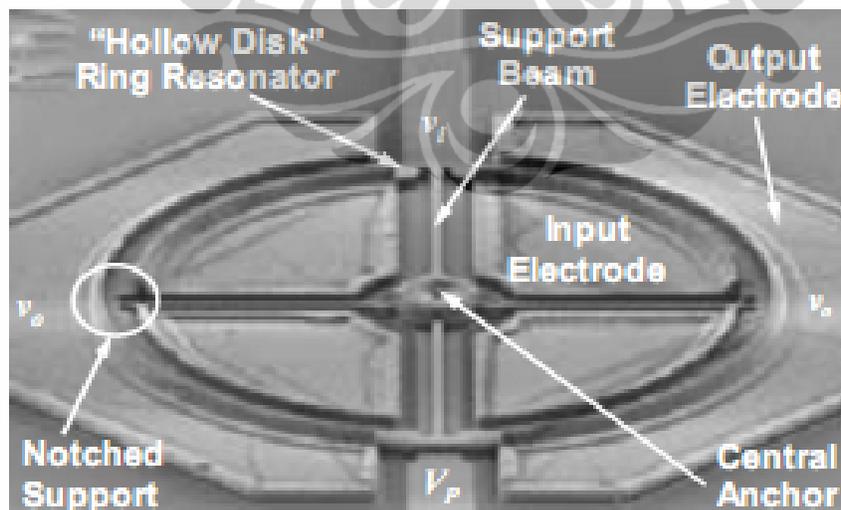
Gambar 2.9 Wineglass disk resonator [17, 12]

Gambar 2.10 merupakan cakram berbentuk mode kontur yang tersusun dari elemen material polysilicon sebagai elektroda dan cakram sebagai resonator yang menggunakan material intan dan material *stem*-nya dari intan. Hasil faktor kualitasnya $Q = 11,555$ pada frekuensi 1,5 Ghz, hampa udara, rentang frekuensi lebih dari 1 GHz, resistansi seri, R_x berkisar 50 – 50,000 ohms. Bentuk geometri gambar 2.10 dapat diaplikasikan untuk lokal RF osilator, filter dan mixer.



Gambar 2.10 *Contour mode* disk resonator [18,12]

Hollow disk seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.11 secara prinsip kerjanya hampir sama dengan gambar 2.8 dan 2.9. Hasil desain dan uji coba menggunakan salah satu perangkat lunak MEMS, bahwa faktor kualitasnya Q sama dengan 14.600 pada frekuensi 1,2 GHz (ruang hampa). Balok pendukungnya dengan panjang $\lambda/4$, dengan rentang frekuensi kira-kira di atas 1 GHz. Resistansi seri, R_x -nya 50 s.d 5 000 ohms. [19,12]



Gambar

Gambar 2.11 Hollow disk resonator [19,12]

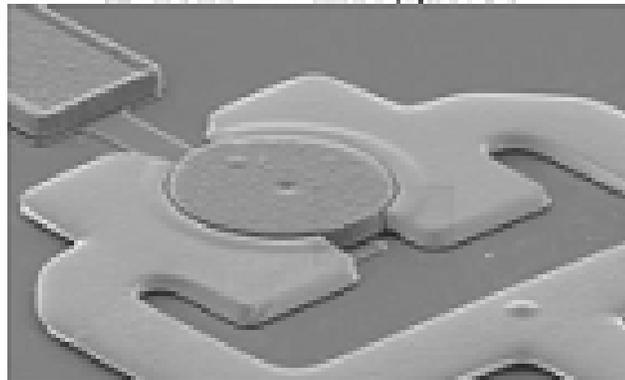
Pada gambar 2.12 menunjukkan sebuah resonator berbentuk persegi dengan panjang *inner*-nya (L_{in}) sebesar $320 \mu\text{m}$. Pada empat sisinya di tengah-

tengahnya diberikan *pad* simetris dengan lainnya untuk terminasi sinyal masukan dan keluaran. Resonator dipabrikasi dengan substrat silicon on insulator (SOI) dan dapat membangkitkan frekuensi 13 MHz dengan faktor kualitas Q sekitar 13,000 yang sering digunakan sebagai salah satu spesifikasi osilator GSM. Kemampuan resonator ini dapat dieksplor sampai frekuensi kerja dengan rentang 10 – 500 MHz. [20, 5].



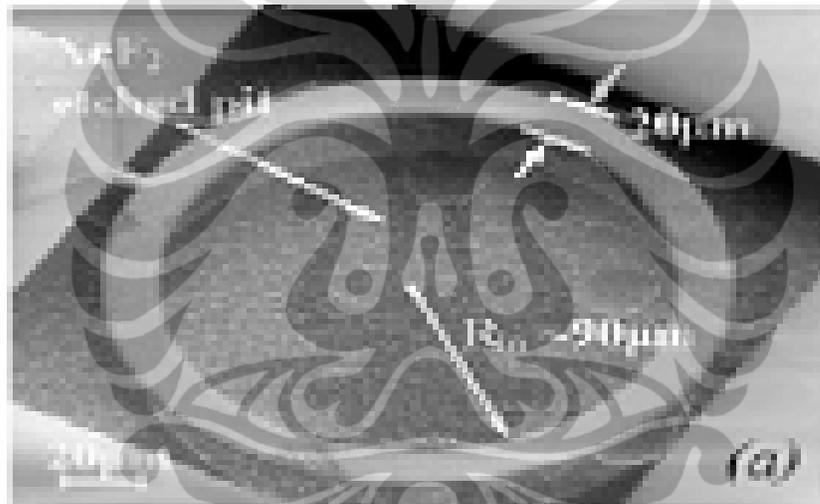
Gambar 2.12 Resonator Persegi [20, 5]

Gambar 2.13 memperlihatkan salah satu contoh mode cakram wineglass yang didesain untuk menghasilkan faktor kualitas Q yang tinggi, yang telah diteliti oleh penulis [21]. Hasil faktor kualitas Q sebesar 11000 pada frekuensi 1.5 GHz dengan cakram dari intan dan stem dari polysilicon. Untuk frekuensi 60 Mhz dapat menghasilkan faktor kualitas Q sebesar 98000, dan masih dapat dieksplor lagi untuk menghasilkan frekuensi dengan rentang 20 – 1.5 MHz, dan dapat aplikasikan untuk kebutuhan osilator RF dan filter. [21,22,5].



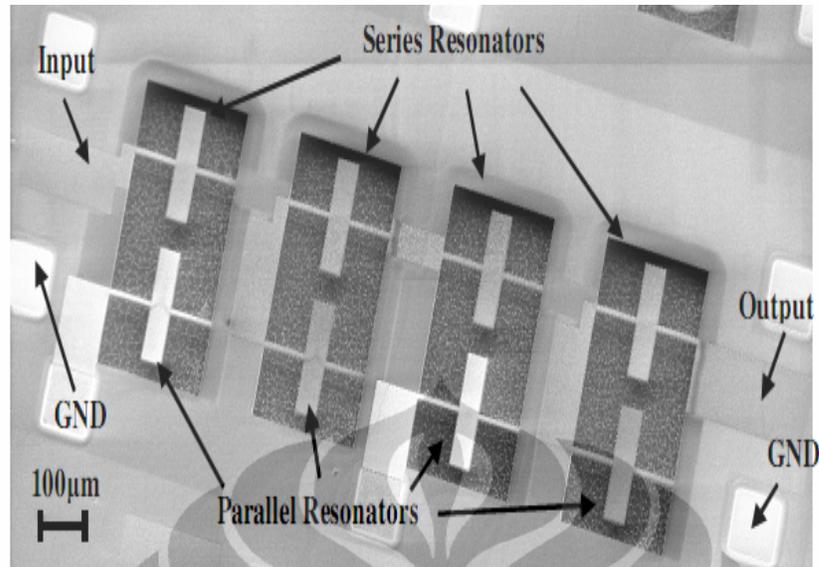
Gambar 2.13 Disk wineglass [21,22,5]

Gambar 2.14 sebuah MEMS yang berbentuk cincin lingkaran atau persegi dengan menggunakan bahan piezoelektrik aluminum nitrit (AlN) yang telah diteliti oleh penulis [23], dengan komposisi material yang terdiri dari piezoelektrik yang diapit oleh dua elektroda. Hasil desain dengan jari-jari lingkaran dalam (*inner ring*) sebesar $90 \mu\text{m}$ dan lebar cincin (*ring*) $20 \mu\text{m}$, menghasilkan faktor kualitas Q sebesar 2000 pada frekuensi kerja 200 – 656 MHz, dengan impedansi *motional* cukup rendah, proses pabrikasi dengan suhu rendah dan dapat disatukan dalam satu chip IC. Rentang kerja frekuensi yang dapat dieksplor untuk bentuk cincin/persegi ini berkisar 100 MHz sampai dengan 5 GHz, yang dapat diaplikasikan untuk osilator RF dan filter [23, 5].



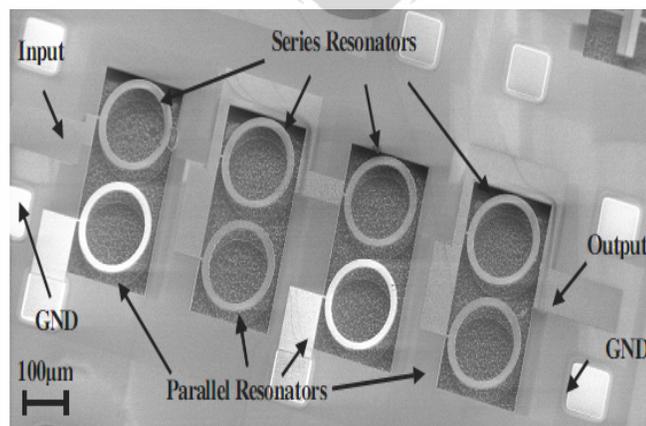
Gambar 2.14 Resonator Cincin Lingkaran/Persegi AlN [23, 5]

Gambar 2.15 merupakan salah satu pengembangan dari mode kontur berbentuk persegi panjang, dengan komponen resonator-nya dirangkai (ada bagian yang diseri dan setelah itu diparalel) seperti terlihat pada gambar 2.15. Tujuan array ini untuk menghasilkan bandwidth yang lebih lebar lagi, biasanya dipersyaratkan dalam desain sebuah filter bandpass [24]. Hasil keluran dari desain ini, frekuensi tengahnya 93.2 MHz, bandwidth -3 dB sebesar 305 kHz, bandwidth -20 dB sebesar 671 kHz, insertion loss sebesar -4 dB, rejection sebesar 27 dB, resistansi serinya sebesar $2 \text{ k}\Omega$, dapat diaplikasikan untuk resonator dan filter.



Gambar 2.15 Elektrical rectangular *coupled ladder* [24]

Gambar 2.16 hampir sama dengan gambar 2.15 yang merupakan pengembangan mode kontur berbentuk cincin lingkaran yang diseri dan selanjutnya diparalelkan sedemikian rupa (gambar 2.16), sehingga didapatkan performa yang lebih baik, khususnya dalam tujuan untuk pelebaran bandwidth yang dipersyaratkan. Hasil keluaran dari desain ini, frekuensi tengahnya 236.2 MHz, bandwidth -3 dB sebesar 605 kHz, bandwidth -20 dB sebesar 1.8 MHz, insertion loss sebesar -7.9 dB, rejection sebesar 26 dB, resistansi serinya sebesar 1 k Ω , dapat diaplikasikan untuk resonator dan filter [24].



Gambar 2.16 Electrical circle coupler ladder [24]