

# Desain *Tunable* Kapasitor berbasis MEMS Menggunakan Comsol Multiphysics

Ilmiatul Masfufiah<sup>1</sup>, Trisna Wati<sup>2</sup>, dan Novie Elok Setiawati<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknik Elektro, FTETI, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya  
e-mail: [i.masfufiah@itats.ac.id](mailto:i.masfufiah@itats.ac.id)

## ABSTRACT

*This presents simulation of tunable MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) capacitor was using COMSOL Multiphysics 5.0 software. This study was consisted of designing and tuning the electrostatically tunable parallel pelate capacitor to obtain the increasing capacitance value. Tuning the capacitance value by changing the capacitor design parameter has been done in this study. The goal of tuning capacitance value was 0.1 pF. The result showed there were 3 ways to increase the capacitance value: by changing the dielectric material, reducing height of spring, and widening capacitor area.*

**Keywords:** MEMS; tunable capacitor; capacitance value; COMSOL Multiphysics Software

## ABSTRAK

Simulasi penyajian kapasitor MEMS (*Micro-Electro-Mechanical Systems*) ini menggunakan perangkat lunak COMSOL Multiphysics 5.0. Penelitian ini terdiri dari merancang dan menyetel atau tuning kapasitor pelat paralel yang dapat diatur secara elektrostatik untuk mendapatkan peningkatan nilai kapasitansi. Menyetel nilai kapasitansi dengan mengubah parameter desain kapasitor telah dilakukan dan ditunjukkan dengan 3 cara yaitu: dengan mengubah bahan dielektrik, mengurangi ketinggian pegas, dan memperluas area kapasitor.

**Kata kunci:** MEMS, Kapasitor, Nilai Kapasitansi, Comsol Multiphysics

## PENDAHULUAN

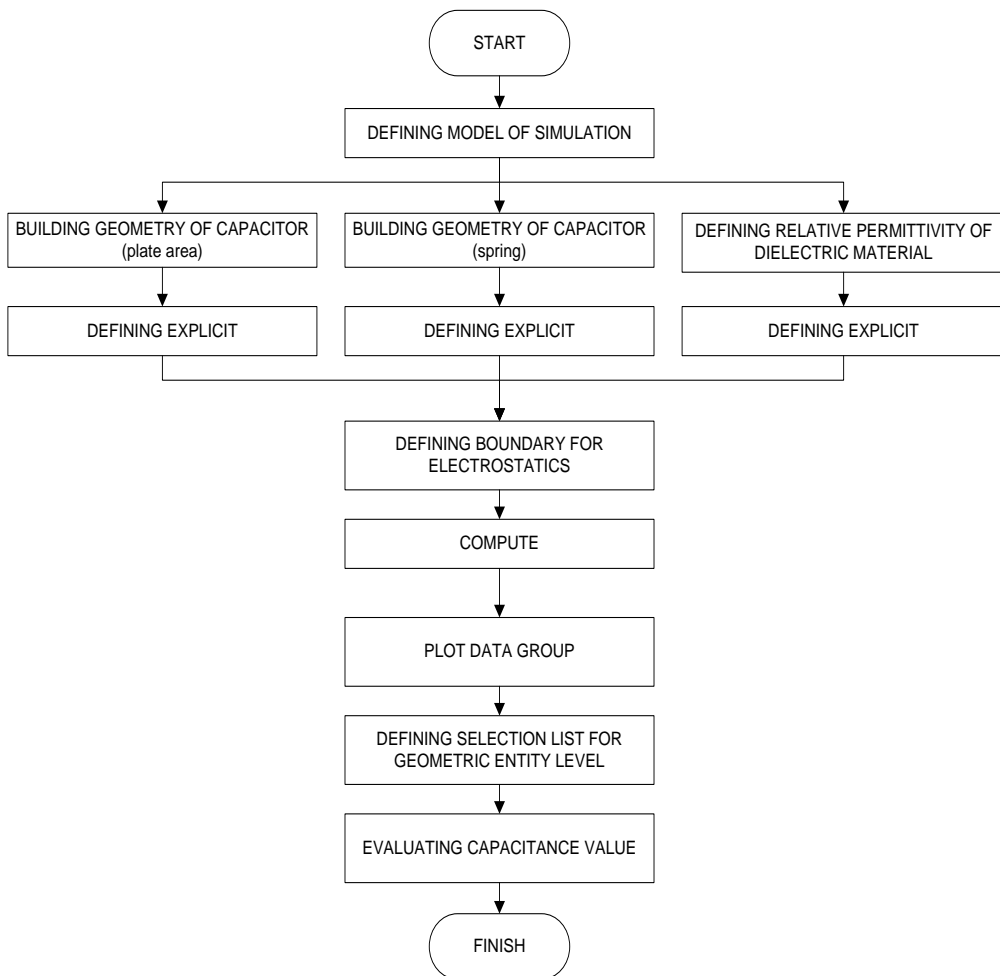
Pada Pembuatan MEMS (*Micro-Electro-Mechanical Systems*), merancang perangkat sebelum fabrikasi sangat diperlukan untuk efisiensi kerja dan efektifitas kerja. MEMS adalah proses teknologi yang digunakan untuk membuat perangkat atau sistem terintegrasi berukuran kecil yang menggabungkan sistem mekanik dan listrik. MEMS [1] terdiri dari mikrostruktur, mikrosensor, mikroaktuator, dan mikroelektronik yang terintegrasi ke dalam chip silikon yang sama, sehingga MEMS memiliki kemampuan untuk merasakan, mengendalikan, dan menggerakkan pada skala mikro dan menghasilkan efek dalam skala makro [2]. Penginderaan kapasitif atau elektrostatik adalah Salah satu mekanisme penginderaan presisi yang paling banyak digunakan [3]. Kapasitor adalah komponen elektronik yang menyimpan listrik dan biasanya dibuat oleh 2 konduktor biasanya berbentuk pelat yang dipisahkan oleh pelat berbahan dielektrik dan bermuatan listrik saat terhubung ke Sumber. MEMS kapasitor ini terdiri dari dua pelat logam paralel, pelat bawah dipasang saat pelat atas bergerak. Ketika tekanan diterapkan ke pelat atas, akan ada perubahan Jarak antara dua pelat kapasitor dan menghasilkan perubahan nilai kapasitansi [1].

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk meningkatkan nilai kapasitansi dari dua pelat paralel yang dirancang dengan menyetel parameternya. Satu piring menumpuk muatan positif dan yang lainnya Pelat menumpuk muatan negatif [4]. Tegangan diterapkan ke satu Piring dan piring lainnya ditahan pada potensial rendah atau tanah. Sejumlah kapasitor variable berbasis MEMS telah dirancang, Dibuat dan dipelajari secara luas[5]. Secara umum, ada tiga Metode

untuk mengubah kapasitansi pelat paralel Kapasitor: metode penyetulan celah, metode penyetulan luas area, dan metode perpindahan dielektrik [6].

## METODE

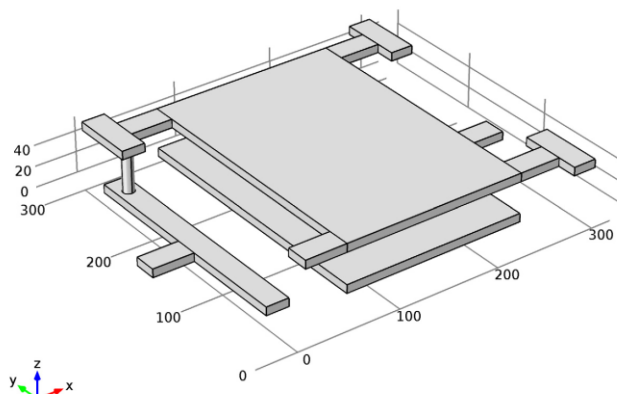
Penelitian ini terdiri dari beberapa langkah-langkah. Langkah pertama[2] adalah merancang kapasitor dengan menentukan semua parameter untuk mengevaluasi nilai kapasitansi, sedangkan langkah kedua adalah menyétel kapasitor untuk meningkatkan nilai kapasitansi.



Gambar 1. Flowcart Desain perancangan MEMS kapasitor

## Desain Kapasitor

Desain dan perancangan kapasitor bergantung pada beberapa parameter, seperti bahan, struktur, dan bentuk [2]. Semua parameter perlu dioptimalkan untuk mendapatkan kapasitansi sesuai dengan keinginan. Kapasitor ini terdiri dari elektroda [7], Alas bidang sebagai ground, dan bahan dielektrik. Pada perancangan ini, bahan dielektrik yang digunakan memiliki nilai relatifitas relatif 4.2. Bentuk pelat paralel elektrostatis ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Mems Kapasitor yang terdiri dari dua pelat metal, jarak antara dua pelat di atur menggunakan pegas yang terhubung pada salah satu pelat.

### Tuning Kapasitansi

Dalam mendesain kapasitor, modul fisika Elektrostatik 3D pada Modul AC / DC[7] digunakan untuk mendapatkan nilai kapasitansi. Penelitian ini diatur stasioner. Kapasitansi tersedia secara langsung sebagai variabel untuk *postprocessing*. Potensial listrik  $V$ , memenuhi persamaan Poisson

$$-\nabla \cdot (\epsilon_0 \epsilon_r \nabla V) = \rho \quad (1)$$

Dimana  $\epsilon_0$  merupakan permitivitas ruang hampa ( $8.854 \times 10^{-12} \text{ Fm}^{-1}$ ),  $\epsilon_r$  merupakan permitivitas relative material antara dua pelat dan  $\rho$  merupakan densitas muatan. Medan listrik dan perpindahan diperoleh dari gradien  $V$

$$\mathbf{E} = -\nabla V \quad (2)$$

$$\mathbf{D} = \epsilon_0 \epsilon_r \mathbf{E} \quad (3)$$

Batas potensial diterapkan pada pelat kapasitor dan batang pelat. Kondisi terminal di atur tetap dengan kondisi potensial 1 V di pelat atas dan batang penghubung, dimana pelat bawah tetap dalam kondisi potensial ground. Untuk kondisi permukaan pada box tidak ada perubahan apapun pada permukaannya.

$$\mathbf{n} \cdot \mathbf{D} = 0 \quad (4)$$

Pada dasarnya, ada tiga faktor yang menentukan nilai kapasitansi yaitu luas pelat, jarak pelat, dan material bahan dielektrik. Semua faktor ini menentukan nilai kapasitansi dengan memengaruhi seberapa banyak fluks medan listrik (perbedaan relatif elektron antara pelat) yang akan dikembangkan untuk jumlah gaya medan listrik tertentu (tegangan antara dua pelat). Perubahan area pelat atau bahan dielektrik berbanding lurus dengan nilai kapasitansi, dan berbanding terbalik dengan jarak pelat.

### Tuning Area Pelat

Perubahan luas pelat sebanding dengan nilai kapasitansi. Area pelat yang lebih besar akan memberikan nilai kapasitansi yang lebih besar karena area pelat yang lebih besar membuat muatan berkumpul pada pelat dan menghasilkan lebih banyak fluks medan (tegangan yang

melintasi pelat) [4]. Ada 2 variasi pengaturan area pelat yaitu memperluas area pelat atas saja dan memperluas area pelat atas dan bawah.

### **Tuning Jarak Pelat**

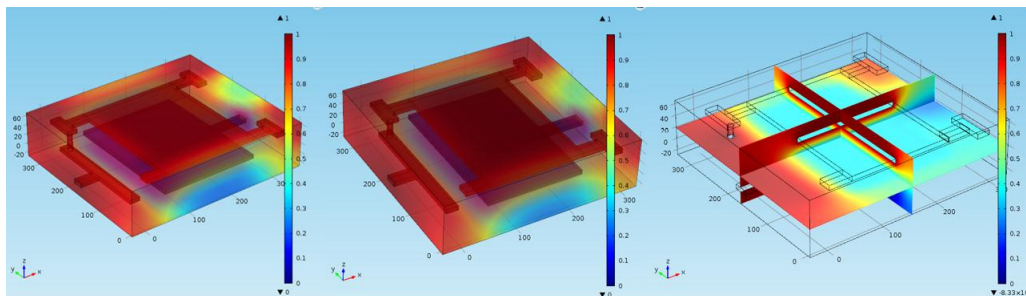
Dua pelat logam paralel dihubungkan oleh pegas yang memiliki jari-jari  $5,5\mu\text{m}$  dan tinggi  $38\mu\text{m}$ . Perubahan jarak pelat ini (pegas) berbanding terbalik dengan nilai kapasitansi. Semakin tinggi ketinggian pegas akan memberikan nilai kapasitansi yang lebih rendah. Jarak pelat yang lebih dekat akan menghasilkan gaya medan yang lebih besar (tegangan yang melintasi kapasitor dibagi dengan jarak antara pelat), yang juga menghasilkan fluks medan yang lebih besar untuk setiap tegangan yang diberikan pada pelat [4]. Jadi, untuk meningkatkan nilai kapasitansi menjadi  $0,1\text{ pF}$ , pegas harus dibuat lebih pendek.

### **Tuning Bahan Dielektrik**

Dielektrik adalah bahan yang dapat mempengaruhi dan dipengaruhi oleh bagian listrik dari medan elektromagnetik. Dalam kapasitor, muatan terakumulasi pada setiap pelat, menciptakan medan listrik di antara pelat. Ketika dielektrik dimasukkan di antara pelat, polarisasi dielektrik menyebabkan dipol berlawanan dengan bidang dielektrik yang diterapkan [8]. Permittivitas material umumnya muncul dari efek pada elektron dalam atom individu atau molekul dalam material [5]. Permittivitas dielektrik yang lebih besar memberikan kapasitansi yang lebih besar. Bahan dengan permittivitas yang lebih besar memungkinkan lebih banyak fluks dan menghasilkan muatan yang terkumpul lebih besar untuk setiap jumlah gaya yang diberikan [4]. Oleh karena itu, dalam penelitian ini nilai permittivitas relatif ditingkatkan untuk mendapatkan nilai kapasitansi  $0,1\text{ pF}$ .

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Desain Kapasitor ini terdiri dari dua pelat logam paralel: pelat atas dan pelat bawah. Lebar pelat atas dan bawah diatur  $176\mu\text{m}$ . Kedua pelat dihubungkan oleh pegas yang tingginya  $38\mu\text{m}$  dengan jari-jari  $5,5\mu\text{m}$ . Permittivitas relatif untuk bahan dielektrik diatur menjadi 4.2. sehingga menghasilkan nilai kapasitansi  $0,08854\text{ pF}$  ( $\sim 0,09\text{ pF}$ ) diantara dua pelat. Setelah tahap desain kapasitor, penyetelan area pelat dibagi menjadi 2 variasi. Yang pertama dengan melebarkan pelat atas saja dan yang kedua dengan memperluas kedua pelat. Untuk mencapai  $0,1\text{ pF}$ , pelat atas melebar menjadi  $208\mu\text{m}$  sedangkan pelat bawah masih  $176\mu\text{m}$ . Ini menghasilkan nilai kapasitansi  $0,9223\text{ pF}$ . Dalam percobaan kedua, baik pelat atas dan pelat bawah disetel ke  $208\mu\text{m}$ . Ini menghasilkan nilai kapasitansi  $0,10031\text{ pF}$ . Kapasitansi meningkat seiring dengan bertambahnya luas pelat, karena lebih banyak muatan yang dapat disimpan ketika potensial berhenti. Dari percobaan tersebut, dapat disimpulkan bahwa memperluas kedua area pelat akan memberikan efek yang lebih besar pada nilai kapasitansi daripada hanya memperluas pelat bagian atas saja.



Gambar 3. Perubahan potesial listrik pada kapasitor a) Dengan tuning area pelat, b) tuning jarak pelat, c) tuning bahan dielektrik. potensial pada masing-masing pelat kapasitor adalah konstan.

Penyetelan jarak pelat telah dilakukan dengan memperpendek jarak antara dua pelat. Ketinggian pegas diatur ke 33,5 $\mu\text{m}$  untuk mencapai 0,10007 pF. Semakin tinggi pegas, maka semakin kecil nilai kapasitansi yang dihasilkan. Langkah terakhir adalah Tuning permitivitas relatif bahan dielektrik juga mempengaruhi nilai kapasitansi. Semakin tinggi permitivitas relatif, semakin banyak nilai kapasitansi yang dihasilkan. Untuk mencapai nilai kapasitansi 0,1 pF, permitivitas relatif ditingkatkan menjadi 4,75. Ini menghasilkan nilai kapasitansi 0,10013 pF. Hasil dari tuning pada penelitian ini menghasilkan beberapa nilai kapasitansi seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Tuning parameter

Parameter					
Pelate area		Pelate spacing		Dielectric material	Capacitance Value (pF)
Upper pelate ( $\mu\text{m}$ )	Lower pelate ( $\mu\text{m}$ )	Height ( $\mu\text{m}$ )	Radius ( $\mu\text{m}$ )	Rel. permittivity	
208	176	38	5.5	4.2	0.09223
208	208	38	5.5	4.2	0.10031
176	176	33.5	5.5	4.2	0.10007
176	176	38	5.5	4.75	0.10013

## KESIMPULAN

Pada penelitian ini diketahui ada 3 cara merancang nilai kapasitansi telah ditunjukkan. Untuk mendapatkan nilai kapasitansi 0,1 pF, area pelat harus diatur 208 $\mu\text{m}$  (15% lebih lebar dari desain dasar) di kedua pelat. Spasi pelat juga harus diatur lebih pendek (6,9% lebih pendek dari desain dasar) dan bahan dielektrik harus diubah menjadi yang relatif lebih tinggi (4,75)

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. M. Teymoori and J. M. Ahangarkolaei, "A Tunable Capacitor Based on MEMS Technology for RF Applications," vol. 6, p. 5, 2016.
- [2] G. Mishra, N. Paras, A. Arora, and P. J. George, "Simulation Of Mems Based Capacitive Pressure Sensor Using Comsol Multiphysics," p. 4, 2012.

- [3] T. Wati, A. Sahrin, T. Suheta, and I. Masfufiah, "Design And Simulation Of Electric Center Distribution Panel Based On Photovoltaic System," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 462, p. 012048, Jan. 2019.
- [4] S. Arora, A. Arora, and P. J. George, "Design Of MemS Based Microcantilever Using Comsol Multiphysics," p. 3, 2012.
- [5] R. L. Borwick, P. A. Stupar, J. DeNatale, R. Anderson, Chialun Tsai, and K. Garrett, "A high Q, large tuning range, tunable capacitor for RF applications," in *Technical Digest. MEMS 2002 IEEE International Conference. Fifteenth IEEE International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (Cat. No.02CH37266)*, Las Vegas, NV, USA, 2002, pp. 669–672.
- [6] I. Masfufiah, "Perancangan Pemanas dan Pengontrol Suhu Sesuai Kondisi Pada Mulut Manusia Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno," *J. IPTEK*, vol. 23, no. 1, pp. 25–30, Jul. 2019.
- [7] S. A. S. Alkadhim, "Modeling Piezoelectric Devices with COMSOL Multiphysics," 2017.
- [8] A. Kolomeytsev, P. Baranov, and I. Zatonov, "The Fluxgate Magnetometer Simulation in Comsol Multiphysics," *MATEC Web Conf.*, vol. 155, p. 01005, 2018.