

Pengaruh Jumlah Elektroda Sensor Kapasitif terhadap Sensitivitas Pengukuran Kadar Air Tanah

Ahmad Aminudin, Eneng Riska, Lilik Hasanah, Mimin Iryanti

Program Studi Fisika, Universitas Pendidikan Indonesia, Jl. Dr. Setiabudhi 229 Bandung 40154,
Indonesia
Email : aaminudin@upi.edu

ABSTRAK

Telah dilakukan desain, pembuatan dan karakterisasi sensitivitas sensor kapasitif. Sensitivitas sensor merupakan parameter penting yang harus diperhatikan dalam pengukuran. Besarnya sensitivitas ditentukan berdasarkan perbandingan sinyal keluaran terhadap masukan sensor kapasitif. Masukan sensor kapasitif yang dimaksud adalah kadar air tanah. Penelitian ini memfokuskan pengaruh jumlah elektroda sensor kapasitif terhadap sensitivitas pengukuran kadar air tanah. Tahapan penelitian diawali desain sensor kapasitif dengan variasi jumlah elektroda, kemudian layout sensor kapasitif dicetak dalam PCB. Selanjutnya mempersiapkan sampel tanah dengan kadar air yang telah diukur. Pengujian dilakukan dengan mengukur nilai kapasitansi sensor untuk setiap variasi kadar air dan jumlah elektroda. Jumlah periodik elektroda yang divariasikan adalah N= 50, 100, 150, 200, 250 dan 300. Hasil pengujian sensitivitas sensor kapasitif untuk jumlah periodik elektroda N= 50, 100, 150, 200, 250 dan 300 masing-masing menunjukkan 2,023pF/%; 3,773 pF/%; 5,154 pF/%; 5,768 pF/%; 6,112 pF/%; 6,341pF/% kadar air.

Kata Kunci: Elektroda Kapasitor; Sensor Kapasitif; Sensitivitas; Kadar Air Tanah

ABSTRACT

Design, manufacture and characterization of sensitivity of capacitive sensors have been carried out. Sensitivity of the sensor is an important parameter that must be considered in the measurement. The amount of sensitivity is determined based on the comparison of the output signal to the capacitive sensor input. The capacitive sensor input in question is the soil water content. This study focuses on the effect of the number of capacitive sensor electrodes on the sensitivity of measuring soil water content. The research phase begins with the design of capacitive sensors with variations in the number of electrodes, then the capacitive sensor layout is printed in the PCB. Next, prepare soil samples with measured water content. Testing is done by measuring the sensor capacitance value for each variation in water content and number of electrodes. The periodic number of electrodes varied were N = 50, 100, 150, 200, 250 and 300. The results of testing the sensitivity of the capacitive sensors for the periodic number of electrodes N = 50, 100, 150, 200, 250 and 300 each showed 2.023pF/%; 3.773 pF/%; 5.154 pF/%; 5.768 pF/%; 6.112 pF /%; 6.341pF /% moisture content.

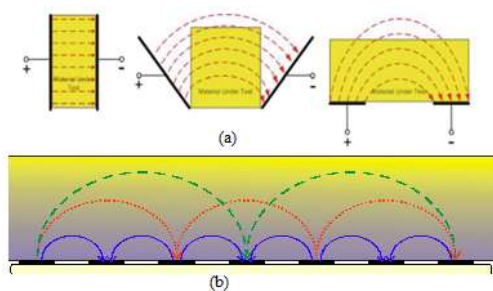
Keywords: Capacitor Electrodes; Capacitive Sensors; Sensitivity; Soil Water Level

1. Pendahuluan

Sensor kapasitif interdigital merupakan sensor kapasitif berbasis pada elektroda *coplanar* yang periodik. Sensor ini dikembangkan oleh Vayres dan Hanna pada tahun 1980 untuk mengevaluasi sensor dengan struktur lapisan terbatas. Hingga saat ini sensor kapasitif interdigit telah dikembangkan dan diterapkan dalam berbagai aplikasi, seperti mengukur konstanta dielektrik kompleks bahan, pemantauan lingkungan, mendeteksi kandungan gula pada larutan gula [1], dan meneliti sifat dielektrik fluida dengan menggunakan IDC-S untuk mengukur perubahan kapasitansi.

Secara operasional, prinsip sensor kapasitif interdigit sama halnya dengan dengan kapasitor plat sejajar [2]. Salah satu kutubnya dihubungkan pada sumber tegangan dan kutub lainnya dihubungkan dengan ground. Jika terdapat suatu stimulus pada bidang dielektrikum, akan menyebabkan perubahan nilai kapasitansi dari sensor.

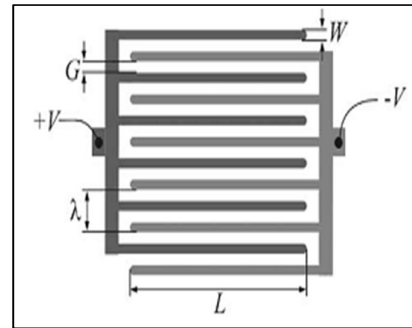
Pada sistem kapasitor plat sejajar, vektor medan listrik membentuk garis lurus menuju polarisasi rendah. Perubahan sistem plat sejajar menjadi *coplanar* dalam sistem kapasitor akan berdampak pada pola lintasan medan listrik yang melalui material dielektrik. Kontur vektor medan listrik membentuk belokan dengan radius bergantung jarak elektroda. Ilustrasi medan listrik yang melingkupi suatu dielektrik pada sistem kapasitor plat sejajar dan *coplanar* ditunjukkan Gambar 1.



Gambar 1 (a) Garis Medan Listrik Transformasi dari kapasitor pelat paralel ke elektroda *coplanar*; (b) Pola Garis-garis Medan Listrik pada elektroda *coplanar* dengan N jumlah periodik elektroda. Sumber : (Rahman, 2014)

Beberapa kapasitor yang dihubungkan paralel dan diberi tegangan V, memiliki tegangan pada setiap kapasitor sama dengan tegangan sumber yang dicantumkan. Pada masing-masing kapasitor yang dihubungkan paralel memiliki beda potensial yang sama karena pada masing-masing kapasitor terhubung langsung dengan sumber tegangan. Besarnya muatan total susunan kapasitor tersebut merupakan jumlah masing-masing muatan dalam kapasitor penyusunnya. Sehingga nilai kapasitansi kapasitor berbanding lurus dengan jumlah kapasitor yang digunakan.

Geometri dasar dari sensor kapasitif interdigit didefinisikan oleh parameter yang ditunjukkan Gambar 2.



Gambar 2. Bentuk dan Konfigurasi sensor kapasitif interdigit[3].

Berdasarkan Gambar 2, parameter geometri sensor kapasitif interdigit ini adalah jumlah elektroda (N), lebar elektroda (W), panjang elektroda (L), jarak pemisahan antara elektroda (G) dan *unit cell* (λ). Jumlah *unit cell* mewakili jumlah kapasitor yang tersusun secara paralel dalam sensor IDC. Satu *unit cell* merupakan satu satuan kapasitor yang terdiri dari 2 elektrode tembaga yang terpisah sejauh lebar *gap*.

Faktor-faktor yang mempengaruhi sensitivitas dalam sistem perancangan IDC-S adalah parameter geometri, bahan penyusun elektroda dan lapisan dielektrikum. Sensitivitas IDC-S terhadap perubahan konstanta dielektrik didefinisikan oleh persamaan (1)

$$\alpha = \frac{\Delta C}{\Delta \epsilon} = \frac{A}{d} \quad (1)$$

Sensitivitas sensor sebanding dengan geometri sensor yang digambarkan oleh rasio

A/d. Rasio A/d dapat dihitung menggunakan persamaan (2).

$$\frac{A}{d} = \frac{K \left[(1 - k^2)^{\frac{1}{2}} \right]}{2K(k)} L(N - 1) \quad (2)$$

$K(k)$ merupakan integral eliptik lengkap jenis pertama dengan modulus k yang dinyatakan oleh persamaan (3) dan (4).

$$K = \frac{dt}{[(1 - t^2)(1 - k^2t^2)]^{\frac{1}{2}}} \quad (3)$$

$$k = \cos \pi \eta = \cos \left(\frac{\pi \cdot W}{W + G} \right) \quad (4)$$

Salah satu faktor penting bagi IDC-S adalah rasio metalisasi. Ratio metalisasi η dinyatakan oleh persamaan (5).

$$\eta = \frac{W}{G + W} \quad (5)$$

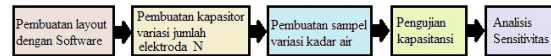
Rasio metalisasi sangat penting dalam menentukan sensitivitas sensor per satuan luas β . Sensitivitas per satuan luas sensor dinyatakan oleh persamaan (6).

$$\beta = \frac{k}{A} \quad (6)$$

Sensitivitas merupakan salah satu karakteristik yang harus dimiliki setiap sensor. Sensitivitas dapat ditentukan melalui perhitungan rasio perubahan sinyal keluaran dari sensor terhadap perubahan sinyal masukan ke sensor. Nilai sensitivitas digunakan secara dominan untuk menentukan unjuk kerja sensor atau alat ukur. Oleh karena itu, setiap produk sensor atau alat ukur selalu mencantumkan nilai sensitivitasnya pada datasheet atau pada buku petunjuk operasional. Sensitivitas sensor sangat diperlukan dalam pengukuran. Oleh karena itu, penelitian ini fokus mengamati sensitivitas sensor kapasitif terhadap jumlah elektroda untuk aplikasi pengukuran kadar air tanah.

2. Metode

Pelaksanaan penelitian dibuat dalam beberapa tahapan yang dilakukan secara sekuensial. Gambar 3 menunjukkan diagram blok tahapan penelitian.



Gambar 3. Diagram Blok tahapan penelitian.

Tahap pertama membuat layout sensor kapasitif menggunakan software eagle untuk masing masing konfigurasi dengan N 50, 100, 150, 200, 250 dan 300. Hasil layout kemudian dicetak dalam film sesuai ukuran konfigurasi. Gambar 3 menunjukkan contoh cetak film.



Gambar 4. Film ortografi sensor kapasitif interdigit.

Film ortografi yang ditunjukkan Gambar 4 ini dibuat dalam enam konfigurasi yang memiliki spesifikasi, panjang elektroda (L) 10 cm, lebar elektroda (W) 0,3 mm, jarak pemisah antar elektroda (G) 0,3 mm dan jumlah elektroda (N) 50, 100, 150, 200, 250, dan 300 pasang.

Tahap kedua adalah membuat sensor kapasitif secara hardware dengan variasi jumlah elektroda N seperti terlihat pada Tabel 1. Proses pencetakan sensor kapasitif dapat dilakukan setelah cetak film ortografi dinyatakan berhasil.

Tabel 1. Konfigurasi sensor kapasitif dengan variasi jumlah elektroda.

No	Sensor	Jumlah elektroda (pasang)
1	Konfigurasi 1	50
2	Konfigurasi 2	100
3	Konfigurasi 3	150
4	Konfigurasi 4	200
5	Konfigurasi 5	250
6	Konfigurasi 6	300

Tahap ketiga adalah pembuatan sampel uji dengan variasi kadar air yang kita tentukan. Pembuatan sampel uji dilakukan dengan cara

menimbang sampel tanah sebelum dan sesudah dikeringkan, proses pengeringan dilakukan menggunakan oven dengan suhu 105-110 °C sampai kadar air dalam tanah tersebut hilang. Indikasi bahwa kadar air dalam sampel tanah telah hilang ditandai dengan hasil penimbangan massa dari sampel tanah tersebut sudah konstan untuk waktu pengeringan yang berbeda. Setelah sampel tanah dikeringkan dan ditimbang massanya, kemudian dilakukan pemberian air dengan konsentrasi tertentu hingga diperoleh sampel tanah dengan kadar air yang diinginkan. Penentuan massa air yang ditambahkan untuk tiap sampel tanah kering dapat ditentukan menggunakan persamaan (1).

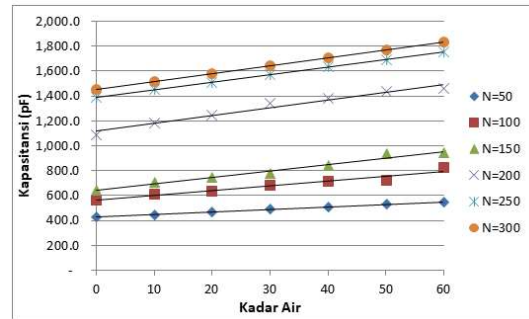
$$= \frac{\text{kadar air (\%)} \times \text{massa kering}}{100 \%} \quad (7)$$

Persamaan (1) didasarkan pada perhitungan kadar air tanah menggunakan metode ASTM D4643-00 [4].

Tahap selanjutnya adalah melakukan pengujian respon sensor kapasitif terhadap variasi kadar air tanah untuk setiap konfigurasi kapasitor, kemudian dilakukan analisa sensitivitas untuk setiap variasi jumlah elektroda.

3. Hasil dan Diskusi

Sampel yang dipersiapkan ada 7 sampel uji tanah lempung dengan variasi kadar air 0-60%. Hasil pengujian yang telah dilakukan terhadap sensor kapasitif interdigit dengan enam konfigurasi jumlah periodik elektroda yang berbeda. Gambar 5 menunjukkan kapasitansi sensor kapasitif terhadap variasi kadar air tanah untuk konfigurasi N 50, 100, 150, 200, 250 dan 300.



Gambar 5 Grafik Hubungan Kapasitansi terhadap Kadar Air Tanah.

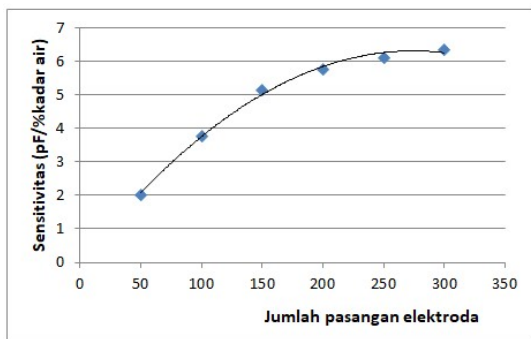
Grafik pada Gambar 5 menunjukkan bahwa kapasitansi sensor kapasitif dengan enam konfigurasi yang berbeda ini meningkat seiring dengan meningkatnya kadar air tanah. Peningkatan kapasitansi disebabkan oleh parameter geometri dan medium dielektriknya. Dalam penelitian ini peningkatan kapasitansi sensor kapasitif disebabkan oleh medium dielektrik, yaitu tanah dengan kadar air yang berbeda. Ketika ruang diantara elektroda sensor kapasitif diisi oleh dielektrik, dielektrik tersebut berada dalam medan listrik. Muatan listrik yang terkandung di dalam dielektrik mengalami sedikit pergeseran dari posisi setimbangnya yang mengakibatkan terciptanya pengutuban dielektrik. Pengutuban atau polarisasi tersebut mengakibatkan timbulnya medan listrik internal (pada bahan dielektrik) yang berlawanan dengan medan listrik yang melingkupinya sehingga menimbulkan jumlah keseluruhan medan listrik yang melingkupi bahan dielektrik menurun. Menurunnya medan listrik disekitar elektroda kapasitor menyebabkan beda potensial menjadi lebih kecil dan rasio $\frac{Q}{V}$ bertambah besar dan berakibat pada meningkatnya kapasitansi sensor kapasitif. Ketika sampel uji (tanah) yang menjadi bahan dielektrik pada sensor kapasitif (IDC-S) memiliki kadar air yang besar maka konstanta dielektriknya juga bertambah besar. Hal ini dikarenakan air merupakan bahan dielektrik polar yang ketika diberi medan listrik, muatan-muatan pada air akan mudah terpolarisasi. Semakin meningkatnya kadar air tanah, muatan yang terpolarisasi semakin banyak dan akhirnya medan listrik induksi yang terbentuk semakin besar yang mengakibatkan

kapasitansi IDC-S semakin besar. Berdasarkan grafik pada Gambar 4 terlihat bahwa kapasitansi sensor dengan kadar air tanah memiliki hubungan regresi linier positif. Hasil regresi linier antara kapasitansi sensor kapasitif dengan kadar air tanah menginformasikan nilai sensitivitas dari sensor seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Sensitivitas

No	Sensor	Jumlah elektroda (pasang)	Sensitivitas
1	Konfigurasi 1	150	2,023
2	Konfigurasi 2	100	3,773
3	Konfigurasi 3	150	5,154
4	Konfigurasi 4	200	5,768
5	Konfigurasi 5	250	6,112
6	Konfigurasi 6	300	6,341

Untuk melihat kecenderungan sensitivitas sensor kapasitif terhadap jumlah pasangan elektroda, maka dibuatlah grafik seperti terlihat pada Gambar 6.



Gambar 5. Grafik sensitivitas sensor kapasitif terhadap jumlah pasangan elektroda

Berdasarkan gambar 6 menunjukkan bahwa sensitivitas semakin meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah pasangan elektroda, namun mulai N=250 dan N=300 peningkatan sensitivitas tidak begitu besar sehingga terlihat makin mendatar. Hal ini berarti ada batasan peningkatan sensitivitas dalam sensor kapasitif.

4. Simpulan

Berdasarkan hasil-hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa sensitivitas sensor kapasitif interdigit dipengaruhi oleh jumlah pasang elektroda. Sensitivitas sensor kapasitif untuk jumlah pasangan elektroda dengan N= 50, 100, 150, 200, 250 dan 300 masing masing menunjukkan 2,023pF/%; 3,773 pF/%; 5,154 pF/%; 5,768 pF/%; 6,112 pF/%; 6,341pF/% kadar air.

5. Referensi

- [1]. A Angkawisittpan, N., & Manasri, T. (2012). Determination of sugar content in sugar solutions using interdigital capacitor sensor. *Measurement Science Review*, 12(1), 8-13.
- [2]. Cahyono, B. E. (2016). Karakterisasi Sensor Kapasitif Untuk Penentuan Level Aquades. *REM (Rekayasa Energi Manufaktur) Jurnal*, 1(2), 9-14.
- [3]. Kalsum, U., & Albanna, I. (2017). Aplikasi Interdigital Capacitor Sensor Untuk Pengukuran Kadar Garam Berbasis Nondestructive. *SENTIA 2015*, 7(1).
- [4]. ASTM D4643. (2000). "Standard test method for determination of water (moisture) content of soil by the microwave oven method." Annual book of ASTM standards, Vol. 04.08, Philadelphia.