

Pengaruh Jumlah Elektrode pada Konfigurasi Sensor IDCS terhadap Pengukuran Permittivitas Parafin dan Glycerol

The Effects of the Number of Elektrodes in IDCS Sensor Configuration on Permittivity Measurement of Paraffin and Glycerol

Ulfa Niswatul Khasanah*¹

Program Studi Fisika, Fakultas Ilmu Eksakta, Universitas Nahdlatul Ulama Blitar
e-mail: ulfaniswatul13@gmail.com

Abstrak

IDCS adalah sensor kapasitif dengan ukuran kecil dan tipis yang digunakan untuk mengukur permitivitas bahan. Jenis bahan yang dapat diukur meliputi zat cair, gas dan zat padat yang berbentuk serbuk. IDCS terdiri dari lapisan tembaga yang memiliki pola atau konfigurasi seperti sisir yang menempel pada lapisan substrat FR-4. Konfigurasi tersebut meliputi lebar elektrode (a), jarak antara dua elektrode (b), panjang elektrode (L) dan jumlah elektrode (N). setiap komponen tersebut memiliki pengaruh terhadap hasil pengukuran permitivitas bahan. Sehingga untuk mendapatkan alat ukur permitivitas yang optimum maka diperlukan penelitian tentang masing-masing pengaruh dari komponen tersebut. Penelitian ini membahas tentang pengaruh jumlah elektrode pada konfigurasi sensor IDCS. Variasi jumlah elektroda yang digunakan yaitu 3, 4, 5, 6, dan 7. Jumlah tersebut mengacu pada hasil optimasi menggunakan metode Particle Swarm Optimization (PSO). Konfigurasi yang paling optimum diperoleh dari hasil pengukuran dengan error yang terkecil. Kesimpulan pada penelitian ini yaitu jumlah elektroda mempengaruhi nilai kapasitansi pengukuran. Pengaruh ini bersifat linier yang berarti jika jumlah elektroda bertambah, maka bertambah pula nilai kapasitansinya. Kapasitansi juga dipengaruhi oleh nilai permitivitas bahan, dimana semakin besar permitivitas bahan maka semakin besar kapasitansinya. Jumlah elektrode pada IDCS mempengaruhi nilai permitivitas hasil pengukuran, hal ini dilihat dari beragamnya nilai error antara permitivitas standar dengan permitivitas yang terukur oleh IDCS. Error terkecil pada pengukuran permitivitas udara, parafin dan glycerol terdapat 1 kesamaan yaitu pada konfigurasi IDCS N6 dengan $a = b = 2 \text{ mm}$, $L = 5 \text{ cm}$, $N = 6$ dan $h = 1 \mu\text{m}$.

Kata kunci: IDCS, kapasitor, permitivitas

Abstract

IDCS is a small and thin capacitive sensor that is used to measure the permittivity of materials. The types of materials that can be measured include liquids, gases and solids in the form of powders. IDCS consists of a copper layer having a comb-like pattern or configuration attached to a layer of FR-4 substrate. The configuration includes the width of the elektrode (a), the distance between the two elektrodes (b), the length of the elektrode (L) and the number of elektrodes (N). each of these components has an influence on the results of measuring the permittivity of the material. So to get the optimum permittivity measuring instrument, it is necessary to study the effects of each of these components. This study discusses the effect of the number of elektrodes on the IDCS sensor configuration. Variations in the number of elektrodes used are 3, 4, 5, 6, and 7. The number refers to the optimization results using the Particle Swarm Optimization (PSO) method. The most optimum configuration is obtained from the measurement results with the smallest error. The conclusion in this study is that the greater the number of elektrodes, the greater the capacitance. The capacitance value is not directly proportional to the permittivity value, this is caused by the different IDCS configurations. In the measurement of permittivity of air, paraffin and glycerol there is 1 similarity, namely the configuration that has the smallest error is N6 with $a = b = 2 \text{ mm}$, $L = 5 \text{ cm}$, $N = 6$ and $h = 1 \mu\text{m}$.

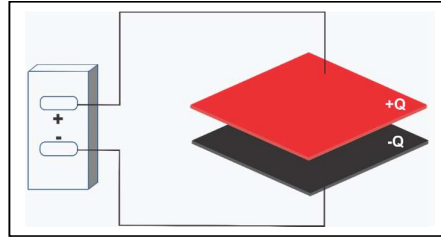
Keyword: IDCS, Capacitor, Permittivity

PENDAHULUAN

Seiring berkembangnya zaman, alat ukur kelistrikan suatu bahan semakin berkembang pula. Salah satu sifat kelistrikan yang jarang orang ketahui adalah nilai permitivitas. Permittivitas merupakan suatu nilai yang menggambarkan kemampuan bahan saat dikenai medan listrik. Permittivitas bahan disebut permitivitas relatif atau disebut juga konstanta dielektrik yang memiliki simbol ϵ_r . Konstanta dielektrik bahan berkaitan erat dengan sifat kelistrikan bahan yaitu

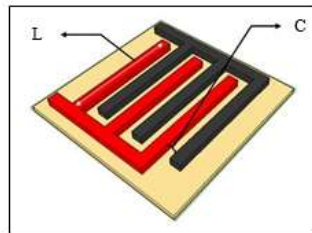
sifat dielektrik bahan. Sifat dielektrik bahan menggambarkan kemampuan suatu bahan dalam menerima, menyimpan, mentransmisikan dan memantulkan energi gelombang elektromagnetik. [1]

Nilai permitivitas bahan dapat diperoleh melalui pengukuran kapasitansi. Kapasitansi adalah kemampuan suatu bahan dalam menyimpan energi dalam bentuk muatan listrik. Prinsip kerja kapasitor hampir sama dengan baterai yang digunakan untuk menyimpan energi listrik. Pada baterai, terdapat 2 buah terminal yang terdiri dari terminal positif dan terminal negatif. Terminal negatif akan menghasilkan elektron dan terminal positif berfungsi untuk menyerap elektron. Perbedaan sifat antara dua terminal tersebut mengakibatkan adanya muatan yang bergerak yang disebut aliran muatan listrik[2]. Namun pada kapasitor tidak menghasilkan elektron namun menyimpan energi listrik yang berbentuk muatan listrik. Kapasitor terbuat dari dua plat sejajar dengan bentuk dan ukuran yang sama yang terpisah oleh bahan dielektrikum.

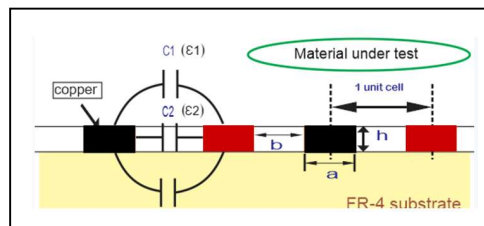


Gambar 1. Kapasitor keping sejajar

IDCS merupakan pengembangan dari prinsip kerja kapasitor plat sejajar. IDCS memiliki 2 terminal yang terdiri dari terminal positif dan negatif seperti kapasitor plat sejajar. Prinsip kapasitor plat sejajar tersebut tertuang pada pola lapisan tembaga yang memiliki tebal $1\ \mu\text{m}$ dan berbentuk seperti sisir, pola tersebut dicetak pada media substrat yang biasanya berbahan silikon atau glass, pada umumnya pola tersebut dicetak pada PCB[3]. IDCS semakin berkembang sesuai perkembangan zaman, IDCS tidak hanya digunakan di bidang Fisika saja, melainkan di bidang biologi dan bidang kimia. IDCS menjadi incaran para peneliti di bidang kesehatan karena kemampuannya yang mampu mendeteksi tingkat homogenitas larutan obat. Selain itu IDCS juga mampu mendeteksi kandungan merkuri atau racun pada ikan laut[4]. Di bidang Fisika, IDCS sering digunakan sebagai transducer maupun fabrikasi pada peralatan atau komponen elektronika[5]. Konfigurasi IDCS dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2. IDCS tampak atas



Gambar 3. IDCS tampak samping

Berdasarkan gambar diatas, Konfigurasi IDCS terdiri dari lebar elektroda (a), jarak antara dua elektroda (b), ketebalan lapisan tembaga (h) jumlah elektroda (N), Panjang elektrode (L) dan permitivitas substrat[6]. Kapasitansi pada IDCS dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$C = C_{uc} \cdot (N-1) \cdot L \quad (1)$$

C merupakan kapasitansi total yang terukur oleh IDCS yang memiliki satuan Farad. Sedangkan C_{uc} adalah kapasitansi setiap satu *unit cell*, dimana 1 *unit cell* terdiri dari satu elektroda positif dan satu elektroda negatif, C_{uc} ini memiliki satuan Farad[7]. Gambar 3 menunjukkan bahwa kapasitansi terjadi antara dua elektrode yang terpisah pada jarak b, dimana dua elektrode tersebut terdiri dari elektrode positif dan negative. Konfigurasi ini disebut 1 *unit cell*. Setiap *unit cell* diperoleh dari kumpulan 3 kapasitansi dengan medium yang berbeda, perumusan matematis tersebut dapat dilihat pada persamaan 2.

$$C_{uc} = C_1 + C_2 + C_3 \quad (2)$$

Kapasitansi satu *unit cell* terdiri dari kapasitansi substrat dan kapasitansi material uji. Berdasarkan gambar 3, medan listrik yang terbentuk pada C_1 dan C_3 tidak berbentuk sejajar, melainkan berbentuk elips. Bentuk medan listrik yang tidak sejajar tidak dapat diselesaikan menggunakan persamaan kapasitor plat sejajar. Sehingga untuk C_1 dan C_3 diselesaikan menggunakan persamaan integral eliptik yang ditunjukkan pada persamaan 3 dan 4[8].

$$C_1 = \frac{\epsilon_0 \epsilon_1}{2} \frac{K(\sqrt{1-k^2})}{K(k)} \quad (3)$$

$$C_3 = \frac{\epsilon_0 \epsilon_3}{2} \frac{K(\sqrt{1-k^2})}{K(k)} \quad (4)$$

ϵ_0 adalah permitivitas diruang vakum, ϵ_1 adalah konstanta dielektrik material yang akan diukur oleh IDCS material yang akan diuji dan ϵ_3 adalah nilai permitivitas dari bahan isolator yang biasa disebut substrat. Sedangkan $K(x)$ adalah sebuah fungsi integral dari bentuk elips yang disebut *complete elliptic integral* jenis pertama dan merupakan fungsi terhadap variabel k dengan nilai k adalah pembagian antara lebar elektroda dengan jumlah lebar elektroda dan jarak antara dua elektroda ($a/(a+b)$)

$$K(x) = \frac{a}{a+b} \quad (5)$$

$$C_2 = \epsilon_0 \epsilon_2 \frac{h}{b} \quad (6)$$

$$C_{uc} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_1}{2} \frac{K(\sqrt{1-k^2})}{K(k)} + \epsilon_0 \epsilon_2 \frac{h}{b} + \frac{\epsilon_0 \epsilon_3}{2} \frac{K(\sqrt{1-k^2})}{K(k)} \quad (7)$$

$$\epsilon_2 = \frac{\frac{C_{uc}}{\epsilon_0} \frac{\epsilon_1 K(\sqrt{1-k^2})}{2 K(k)}}{\frac{h}{b} + \frac{K(\sqrt{1-k^2})}{2 K(k)}} \quad (8)$$

METODE PENELITIAN

Alat dan bahan yang dibutuhkan pada penelitian ini meliputi:

a. Sensor

Secara struktur IDCs terdiri dari satu lapisan tembaga dengan lapisan dasar (substrat) FR-4

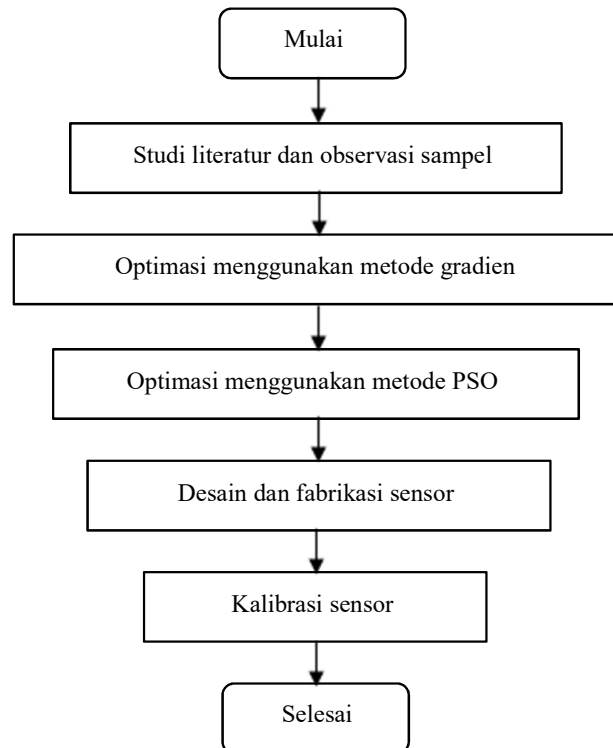
b. Alat ukur kapasitansi

Alat ukur kapasitansi yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah LCR meter Tipe Philips PM 6303A

c. Material Uji

Material uji yang digunakan yaitu parafin dan Gliserin

Langkah-langkah pada pembuatan sensor dapat dilihat pada gambar 4.

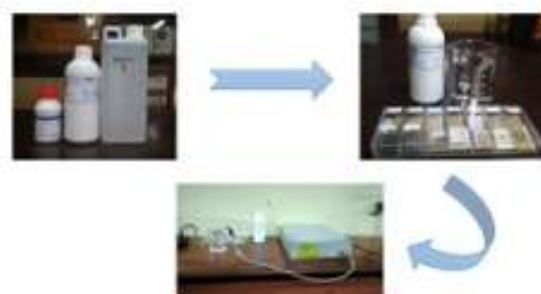


Gambar 4. Diagram alir pembuatan sensor

Langkah-langkah pengambilan data dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram pengambilan data



Gambar 6. Pengukuran permitivitas Parafin dan Glycerol

Agar diperoleh data yang maksimum, selain mengacu pada hasil optimasi, penulis juga membuat rangkaian sensor dengan variasi jumlah elektrode 1-20 yang memiliki konfigurasi seperti pada tabel 2.

Pengaruh Jumlah Elektrode pada Konfigurasi Sensor IDCS terhadap Pengukuran Permittivitas Parafin dan Glycerol (Ulfa Niswatul Khasanah)

Tabel 1. Spesifikasi sensor variasi jumlah elektrode

No.	Nama Sensor	Lebar elektrode (a)	Jarak antara 2 elektrode (b)	Jumlah Elektrode (N)	Panjang Elektrode (L)	Tebal Elektrode (h)
1	N1			1		
2	N2			2		
3	N3			3		
4	N4			4		
5	N5			5		
6	N6			6		
7	N7			7		
8	N8			8		
9	N9			9		
10	N10			10		
11	N11	2 mm	2 mm	11	5 cm	1 μ m
12	N12			12		
13	N13			13		
14	N14			14		
15	N15			15		
16	N16			16		
17	N17			17		
18	N18			18		
19	N19			19		
20	N20			20		

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian tentang pengaruh konfigurasi IDCS yang meliputi jumlah elektroda terhadap hasil pengukuran permitivitas dilakukan di Laboratorium Instrumentasi dan Elektronika Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan suhu 26-27,2 °C. Instrumen yang digunakan adalah LCR meter PM 6303A dengan frekuensi 1kHz. IDCS akan mengubah konstanta dielektrik menjadi data yang dapat kita amati di LCR meter atau data digital dengan cara konstanta dielektrik material uji diubah menjadi kapasitansi melalui sensor kapasitif IDCS yang terukur oleh LCR meter. Kapasitansi tersebut dikonversi melalui perhitungan dengan menggunakan persamaan 8.

Dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh konfigurasi IDCS, penelitian dilakukan dengan mengukur kapasitansi pada medium udara, Parafin dan Glycerol. Ketiga medium ini dipilih karena medium tersebut telah memiliki konstanta dielektrik standar. Udara memiliki konstanta dielektrik 1,006 F/m, Parafin memiliki konstanta dielektrik 2,3 F/m, dan Glycerol memiliki konstanta dielektrik 56 F/m.

Pengukuran pengaruh jumlah elektrode pada IDCS ini memiliki tujuan untuk mendapatkan konfigurasi IDCs yang terbaik, yaitu sensor dengan eror terkecil. Dimana nilai eror diperoleh

*Pengaruh Jumlah Elektrode pada Konfigurasi Sensor IDCS terhadap
Pengukuran Permitivitas Parafin dan Glycerol (Ulfa Niswatul Khasanah)*

dengan membandingkan konstanta dielektrik yang terukur oleh IDCS dengan konstanta dielektrik standar yang dimiliki setiap medium. Pengaruh konfigurasi IDCS pernah diteliti oleh Risse Entikaria Rachmanita dkk, yang meliputi pengaruh lapisan konduktor terhadap konfigurasi IDCS, lapisan konduktor yang digunakan yaitu perak dan tembaga yang digunakan untuk mengukur permitivitas *crude oil* [10]. Kelebihan dari penelitian ini yaitu *range* konfigurasi IDCS yang difabrikasi telah melalui proses optimasi baik melalui optimasi gradien maupun optimasi PSO menggunakan Matlab. Berdasarkan persamaan 8 parameter-parameter IDCs meliputi ϵ_2 merupakan konstanta dielektrik medium yang akan diukur, ϵ_3 merupakan konstanta dielektrik substrat, K adalah konstanta Catalan yang dipengaruhi oleh lebar elektrode dan jarak antara dua elektrode, h adalah tebal lapisan pada lapisankonduktor, b merupakan jarak antara dua elektrode terdekat, N merupakan jumlah elektrode dan L merupakan panjang elektrode. Dimana ϵ_0 merupakan permitivitas pada ruang vakum dengan nilai $8,85 \cdot 10^{-12}$ F/m. Penentuan batas atas dan batas bawah setiap parameter IDCs ditentukan melalui optimasi gradien. Optimasi gradien menghasilkan nilai $N \neq 1$, $L \neq 0$, $a \neq 0$, $b \neq 0$. Berdasarkan hasil optimasi tersebut, sangat memungkinkan nilai pada parameter-parameter IDCs memiliki rentang dibawah 1 mm. Namun pada penelitian ini, penulis harus menyesuaikan dengan bahan dan kemampuan alat yang digunakan untuk proses fabrikasi sensor. Dimana bahan substrat yang tersedia adalah FR-4 dengan konstanta dielektrik 4,75F/m dan tembaga sebagai lapisan konduktor dengan ketebalan 1 μ m. Selain hal tersebut, pihak percetakan sensor hanya mampu mencetak IDCs dengan ketebalan lapisan minimum sebesar 1 mm. Sehingga dapat disimpulkan bahwa batasan pada variabel input dalam algoritma PSO diperlihatkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Batas parameter konfigurasi IDCS pada PSO

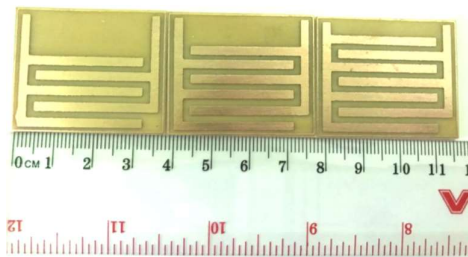
Nilai	a	b	N	L
Batas atas	30 mm	30 mm	20	30 mm
Batas bawah	0.5 mm	0.5 mm	2	2 mm

Hasil optimasi PSO dengan iterasi 100 ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil optimasi PSO

Nilai	a	b	N	L
maksimum	2 mm	2 mm	7	7 mm
minimum	1 mm	1 mm	3	4 mm
modus	2 mm	2 mm	6	5 mm

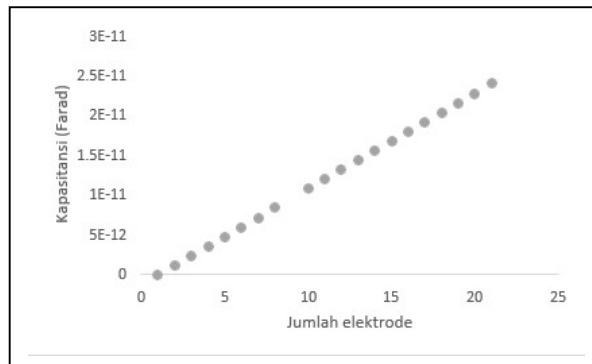
Penelitian ini diawali dengan proses fabrikasi sensor, fabrikasi merupakan proses pembuatan IDCS. Gambar 6 menunjukkan bahwa lapisan konduktor yang dipakai adalah lapisan tembaga yang dilekatkan pada bahan isolator yaitu substrat (*Flame Resistant*) FR-4.



Gambar 7. Fabrikasi sensor IDCS

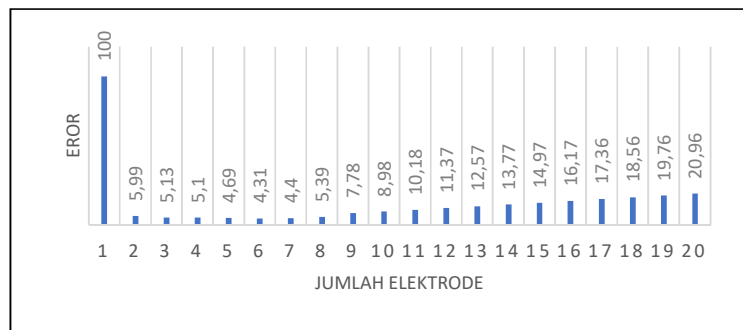
Langkah selanjutnya yaitu proses kalibrasi sensor, proses ini menggunakan medium udara sebagai medium dielektriknya. Hasil pengukuran kapasitansi disajikan pada gambar 8.

Pengaruh Jumlah Elektrode pada Konfigurasi Sensor IDCS terhadap Pengukuran Permitivitas Parafin dan Glycerol (Ulfa Niswatul Khasanah)



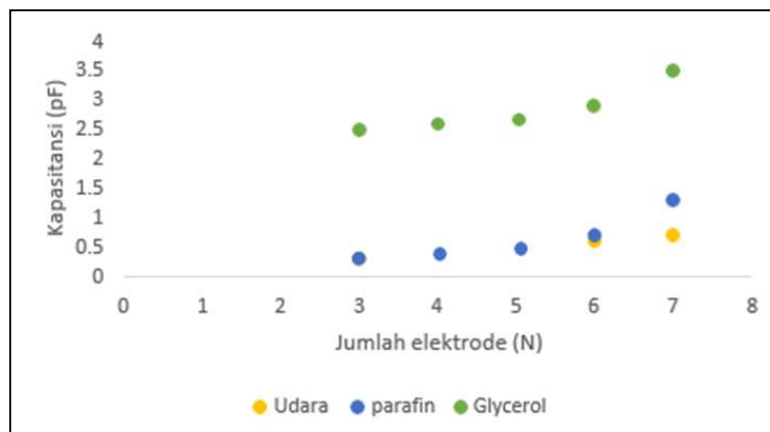
Gambar 8. Kapasitansi udara terhadap jumlah elektrode

Data hasil pengukuran kapasitansi tersebut dihitung menggunakan persamaan 8. Dalam menghitung permitivitas, peneliti dimudahkan dengan adanya kalkulator online keisan.casio.com. Hasil perhitungan permitivitas disajikan pada grafik berikut.



Gambar 9. Hasil perhitungan eror permitivitas udara

Gambar 9 menunjukkan bahwa hasil pengukuran permitivitas udara menggunakan IDCS dengan alat ukur LCR meter mencakup hasil optimasi PSO, yaitu eror terkecil ditunjukkan pada sensor 3, 4, 5, 6 dan 7. Sensor tersebut kemudian digunakan untuk mengukur permitivitas bahan parafin dan glycerol.



Gambar 8. Kapasitansi pada udara, parafin dan glycerol

Selain dipengaruhi oleh geometri sensor, nilai kapasitansi juga dipengaruhi oleh jenis material dielektrik yang digunakan. Variabel fisis yang membedakan antara jenis material dielektrik yang satu dengan yang lainnya adalah konstanta dielektrik atau sering disebut

Pengaruh Jumlah Elektrode pada Konfigurasi Sensor IDCS terhadap Pengukuran Permitivitas Parafin dan Glycerol (Ulfa Niswatul Khasanah)

permitivitas. Berdasarkan ketiga material dielektrik yang digunakan pada penelitian ini diketahui bahwa udara memiliki konstanta dielektrik yang paling kecil yaitu 1,0006 F/m, sedangkan parafin dan glycerol berturut-turut memiliki konstanta dielektrik 2,3 F/m dan 56 F/m. Semakin besar konstanta dielektrik suatu material mengakibatkan nilai kapasitansi yang bertambah pula. Hal ini sesuai dengan hasil pengukuran kapasitansi yang telah dilakukan, dimana hasil pengukuran kapasitansi yang terukur pada medium glycerol lebih besar daripada medium pada parafin dan udara.

Tabel 4. Hasil pengukuran permitivitas udara

Jenis sensor	Nilai N	Permitivitas standar	Permitivitas pengukuran	Error %
N3	3	1,006	1,03	2,38
N4	4	1,006	0,96	4,57
N5	5	1,006	1,035	2,88
N6	6	1,006	1,013	1,39
N7	7	1,006	0,97	3,58

Tabel 5. Hasil pengukuran permitivitas Parafin

Jenis sensor	Nilai N	Permitivitas standar	Permitivitas pengukuran	Error %
N3	3	2,3	2,35	2,17
N4	4	2,3	2,34	1,74
N5	5	2,3	2,25	2,17
N6	6	2,3	2,33	2,14
N7	7	2,3	2,4	4,35

Tabel 6. Hasil pengukuran permitivitas Glycerol

Jenis sensor	Nilai N	Permitivitas Glycerol	Permitivitas dari IDCS	Error %
N3	3	56	59,7	4,25
N4	4	56	52,8	5,71
N5	5	56	52,6	6,07
N6	6	56	54,2	3,21
N7	7	56	51	8,93

Berdasarkan tabel 4,5 dan 6 terdapat satu kesamaan dimana eror pada ketiga tabel diatas memiliki nilai eror berkisar di nilai 5%. Konfigurasi IDCS yang dapat digunakan berkisar pada N = 3 sampai N = 7. Pada pengukuran permitivitas udara, parafin dan glycerol terdapat 1 kesamaan yaitu konfigurasi yang memiliki eror terkecil adalah N6 dengan $a = b = 2 \text{ mm}$, $L = 5 \text{ cm}$, $N = 6$ dan $h = 1 \mu\text{m}$. Nilai eror tidak berbanding lurus dengan nilai N karena setiap konfigurasi memiliki sifat fisis yang perlu ditelaah dalam pengukuran maupun perhitungannya.

KESIMPULAN

Kesimpulan pada penelitian ini yaitu jumlah elektroda mempengaruhi nilai kapasitansi pengukuran. Pengaruh ini bersifat linier yang berarti jika jumlah elektroda bertambah, maka bertambah pula nilai kapasitansinya. Kapasitansi juga dipengaruhi oleh nilai permitivitas bahan,

Pengaruh Jumlah Elektrode pada Konfigurasi Sensor IDCS terhadap Pengukuran Permitivitas Parafin dan Glycerol (Ulfa Niswatul Khasanah)

dimana semakin besar permitivitas bahan maka semakin besar kapasitansinya. Jumlah elektrode pada IDCS mempengaruhi nilai permitivitas hasil pengukuran, hal ini dilihat dari beragamnya nilai eror antara permitivitas standar dengan permitivitas yang terukur oleh IDCS. Eror terkecil pada pengukuran permitivitas udara, parafin dan glycerol terdapat 1 kesamaan yaitu pada konfigurasi IDCS N6 dengan $a = b = 2 \text{ mm}$, $L = 5 \text{ cm}$, $N = 6$ dan $h = 1 \mu\text{m}$.

SARAN

Saran untuk penelitian tentang IDCS yaitu menggunakan LCR meter dengan rentang frekuensi yang lebih tinggi agar nilai permitivitas maupun kapasitansi yang didapat lebih signifikan. Serta melakukan optimasi dengan batas minimum pada lebar elektrode pada orde mikro. Karena optimasi menggunakan PSO ini sangat memungkinkan bahwa konfigurasi IDCS yang optimum berada pada orde mikro.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Vuković Rukavina, A., 2014. Hand-held unit for liquid-type recognition, based on interdigital capacitor Measurement 51, 289–296. doi:<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.measurement.2014.02.012>
- [2] Liang, J.G.et.al. (2018). Thickness effects of aerosol deposited hygroscopic films on ultra – sensitive humidity sensors. Sens. Actuators B.Chem. 265,632-643
- [3] Rukavina, A. V. (2014). Hand-held unit for liquid-type recognition, based on interdigital capacitor. Measurement, 51, 289-296. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.measurement.2014.02.012>
- [4] Oje, A. I., Ogwu, A., Mirzaeian, M., . (2019). Pseudo-capacitance of silver oxide thin film electrodes in ionic liquid for electrochemical energy applications. Journal of Science: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jsamd.2019.04.003>
- [5] Rukavina, A. V. (2015). Non-invasive liquid recognition based on interdigital capacitor. Sensors and Actuators. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.sna.2015.03.019>
- [6] Shanmugam, G. (2012). Handbook of Petroleum Exploration and Production. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-444-56335-4.00010-2>
- [7] Muntini, M. S., Pramono, Y. H., & Yustiana. (2014). Modeling of Well Drilling Heating on Crude Oil Using Microwave. *The 4th International Conference on Theoretical and Applied Physics (ICTAP) 2014* (pp. 030011-2-030011- 7). Bali, Indonesia: American Institute of Physics.
- [8] Carlson, J. E., Tomren, A. L., Folgerø, K., & Barth, T. (2014). Estimation of dielectric properties of crude oils based on IR spectroscopy. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chemolab.2014.09.001>
- [9] Angkawisittpan, N., & Manasri, T. (2012). Determination of sugar content in sugar solutions using interdigital capacitor sensor. Measurement Science Review, 12(1), 8-13. <https://doi.org/https://doi.org/10.2478/v10048-012-0002-0>
- [10] Rachmanita, R., & Ahmadi, H. (2019). Aplikasi Interdigital Capacitor Sensor (IDCS) dalam pengukuran permitivitas relatif Crude Oil. Jurnal Pendidikan Fisika dan Keilmuan (JPFK), 5(2), 72-82. doi: <http://dx.doi.org/10.25273/jpfk.v5i2.4011>