

PENGUKURAN KONSENTRASI LARUTAN GULA MENGUNAKAN TRANSDUSER KAPASITIF

Muhammad Hidayatullah¹, Kuwat Triyana²

¹Program Studi Teknik Elektro, FTI, Universitas Teknologi Sumbawa.

²Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Gadjah Mada.

Jl. Raya Olat Maras, Batu Alang- Sumbawa, NTB¹. Sekip Utara, Bulaksumur 21
Yogyakarta²

Email : mhhidayat07@gmail.com

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian tentang pengukuran konsentrasi larutan menggunakan transduser kapasitif yang bekerja berdasarkan fenomena *electrical capacitive tomography* (ECT). Sebelum digunakan, transduser kapasitif diverifikasi berdasarkan ASTM D.1076-02 terhadap sampel larutan getah lateks oleh Laboratorium Penguji Balai Penelitian Teknologi Karet Bogor. Jenis larutan yang diukur konsentrasinya dalam penelitian ini adalah larutan gula dengan pelarut air dengan variasi konsentrasi. Dalam pengukuran ini, digunakan konsentrasi larutan tertinggi sebagai referensi yaitu konsentrasi larutan gula 95%. Sedangkan sebagai pembanding pengukuran, digunakan konsentrasi larutan gula variasi konsentrasi dengan referensi larutan gula 80%. Untuk larutan gula dengan konsentrasi referensi 95%, diperoleh hubungan linier antara konsentrasi larutan ujinya dengan konsentrasi terukur pada alat dengan nilai koefisien korelasi sebesar 0,999. Nilai koefisien korelasi menurun menjadi 0,996 pada saat konsentrasi referensi yang digunakan 80%. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa transduser kapasitif mempunyai potensi yang tinggi sebagai alat alternatif untuk mengukur konsentrasi larutan gula dengan cepat tanpa preparasi sampel yang dapat digunakan oleh masyarakat dalam mengetahui kadar gula yang beredar dipasaran.

Kata kunci: *transduser kapasitif, electrical capacitive tomography, konsentrasi larutan.*

ABSTRACT

Concentration of water based solutions has been measured by using a capacitive transducer which works based on the phenomenon of electrical capacitive tomography (ECT). Before being used, the capacitive transducer was verified by ASTM D.1076-02 standard to the latex solution by Laboratorium Penguji Balai Penelitian Teknologi Karet Bogor. Type of solution is measured concentrations in this study is a sugar solution with the solvent water with various concentrations. In this measurement, the highest concentration of the solution is used as a reference, namely the concentration of sugar solution 95%. Meanwhile, as a comparison measurement, used the concentration of sugar solution concentration variations with reference to 80% sugar solution. For reference sugar solution with a concentration of 95%, obtained by a linear relationship between the concentration of the test solution with a concentration measured on devices with correlation coefficient of 0.999. The correlation coefficient decreased to 0.996 at the time of the references used concentration of 80%. It can be concluded that the capacitive transducers have a high potential as an alternative tool for measuring the concentration of sugar solution quickly without sample preparation that can be used by the public in knowing the levels of sugar in the market.

Key words: *capacitive transducers, electrical capacitive tomography, concentration of solution*

1. PENDAHULUAN

Bahan dielektrik adalah bahan yang tidak memiliki muatan bebas yang berpengaruh penting terhadap sifat kelistrikan bahan tersebut. Bahan dielektrik sangat penting dalam kelistrikan karena beberapa sifatnya dapat menyimpan muatan listrik, melewatkan arus bolak-balik (AC) dan menahan arus searah (DC). Bahan dielektrik juga dapat diartikan suatu bahan yang memiliki daya hantar arus yang sangat kecil atau bahkan hampir tidak ada. Bahan dielektrik ini dapat berwujud padat, cair dan gas. Ketika bahan ini berada dalam medan listrik, muatan listrik yang terkandung di dalamnya tidak mengalami pergerakan sehingga tidak akan timbul arus seperti bahan konduktor ataupun semikonduktor, tetapi hanya sedikit bergeser dari posisi setimbangnya yang mengakibatkan terciptanya pengutuban dielektrik (Utomo dkk., 2011). Bahan dielektrik ada dua jenis, yakni polar dan non-polar. Molekul dielektrik polar berarti bahwa molekul dielektrik tersebut ketika dalam keadaan tanpa medan listrik, antara elektron dan intinya telah membentuk dipol. Sedangkan molekul non-polar ketika tidak ada medan listrik antara elektron dan inti tidak tampak sebagai dua muatan terpisah. Dielektrik molekul polar maupun non polar bila diletakkan dalam medan listrik akan mengalami polarisasi (Sehah dkk., 2009). Setiap bahan isolator mempunyai sifat dielektrik yang berbeda-beda. Bahan dengan sifat dielektrik yang cukup baik, banyak dimanfaatkan sebagai bahan baku pada industri terutama industri elektronik dan bangunan (Eryolamda dan Reny 2010).

Metode pengukuran konsentrasi bahan dielektrik yang umum digunakan adalah menggunakan metode *lissajous (loss tangen)*. Metode *lissajous* merupakan metode sederhana karena hanya menggunakan beberapa peralatan sederhana seperti osiloskop sinar katoda (*Cathode Ray Oscilloscope*, CRO), generator isyarat, resistor serta keping logam sejajar (Wang, S. dkk., 2003). Metode lain untuk pengukuran konsentrasi bahan dielektrik adalah menggunakan Differential Scanning Calorimetry (DSC). DSC digunakan untuk mempelajari perubahan entalpi dari sampel lateks karet alam saat dipanaskan di bawah suhu terkontrol. Perubahan total entalpi sampel dalam kisaran suhu ini ditafsirkan sebagai akibat variasi kuantitas air yang ditambahkan kedalam sampel. Pengukuran dilakukan dengan cara menimbang karet alam sebelum dimasukkan ke sistem DSC untuk dikeringkan (Rejikumar dan J.Philip, 2010).

Selain metode-metode tersebut, dikembangkan metode pengukuran yang berbasis sensor atau transduser. Salah satu jenis transduser yang dikembangkan adalah transduser kapasitif yang bekerja berdasarkan fenomena *Electrical Capacitance Tomography* (ECT). *Tomography* adalah proses visualisasi gambar dua dimensi maupun tiga dimensi yang banyak digunakan dalam proses industri. *Electrical capacitance tomography* (ECT) merupakan salah satu proses dalam tomography. ECT terdiri dari tiga bagian utama yaitu sensor, sinyal kondisioning, dan komputer. Sensor terbuat dari plat tembaga yang berfungsi sebagai elektroda untuk mengukur perubahan kapasitansi, sinyal kondisioning berupa rangkaian elektronik yang mengkonversi sinyal dari elektroda menjadi data digital, sedangkan komputer berfungsi sebagai pengolah data dan rekonstruksi *image* menjadi gambar dua dimensi atau tiga dimensi (Horng dkk., 2003). Fenomena pada sistem ECT ini kemudian diadopsi untuk pengembangan transduser kapasitif yang digunakan untuk mengukur kadar karet kering dengan memanfaatkan perubahan kapasitansi dari suatu bahan uji yang mana hasil pembacaannya berupa data tegangan dan konsentrasi larutan bahan.

Sehingga tujuan penelitian ini, yaitu untuk menguji transduser kapasitif berbasis ECT yang telah dikembangkan oleh Laboratorium Penelitian dan Pengujian Terpadu (LPPT) Universitas Gadjah Mada untuk pengukuran konsentrasi larutan bahan selain lateks (karet alam) seperti gula sehingga teruji kualitas dan akurasi pembacaan transduser kapasitif ini sebagai alat pengukuran konsentrasi atau kadar bahan portabel yang memungkinkan untuk dipasarkan kepada masyarakat.

2. METODE PENELITIAN

Pengukuran konsentrasi larutan gula dengan pelarut air menggunakan transduser kapasitif dilakukan di laboratorium Laboratorium Fisika Material & Instrumentasi Fakultas MIPA UGM. Sebelum digunakan, transduser kapasitif telah diverifikasi berdasarkan ASTM D.1076-02 terhadap sampel larutan getah lateks oleh Laboratorium Penguji Balai Penelitian Teknologi Karet Bogor. Sebelum digunakan, transduser kapasitif telah diverifikasi berdasarkan ASTM D.1076-02 terhadap sampel larutan getah lateks oleh Laboratorium Penguji Balai Penelitian Teknologi Karet Bogor.

Penelitian yang dilakukan meliputi tahapan preparasi sampel, penyiapan sistem transduser kapasitif, pengujian sampel dan analisa data hasil pengujian. Pada tahap preparasi sampel, sampel yang digunakan adalah % konsentrasi larutan gula dengan berbagai variasi konsentrasi. Digunakan gula halus yang dilarutkan dengan pelarut air (*aquades*) dengan variasi konsentrasi gula 5%, 10%, 20% sampai dengan 95%. Kemudian konsentrasi larutan gula yang sangat pekat yaitu gula 95% digunakan sebagai referensi untuk pengukuran variasi larutan gula dari 5% sampai dengan 80%. Selain % konsentrasi gula 95%, juga digunakan pembanding konsentrasi gula 80% sebagai referensi untuk pengukuran konsentrasi gula 5% sampai dengan 75%. Dari dua jenis % konsentrasi gula sebagai referensi ini digunakan untuk menguji performa transduser kapasitif.

Pada tahap penyiapan sistem transduser kapasitif mengikuti prosedur penggunaan alat sesuai *manualbook* “**Gamaprolad versi 1.1**”. Kemudian untuk pengukuran % konsentrasi larutan gula variasi konsentrasi, yang pertama dilakukan adalah menentukan tegangan bawah (V_b), dengan cara tabung sensor dari transduser kapasitif ini diisi dengan larutan gula 95% yang telah dibuat sebelumnya. Selanjutnya dipilih menu “**Get V Bot**” pada transduser kapasitif, kemudian tekan *enter*. Kemudian tabung sensor tersebut dibersihkan dan dikeringkan agar dapat digunakan untuk larutan lain.

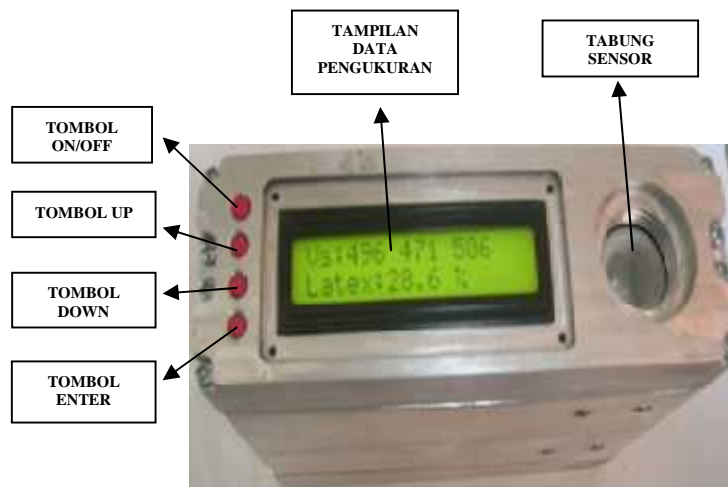
Langkah kedua adalah menentukan tegangan atas (V_T), yaitu tabung sensornya diisi dengan air (*aquades*) kemudian dipilih menu “**Get V Top**” dan tekan *enter*. Setelah itu, tabung sensornya kembali dibersihkan dan dikeringkan untuk kembali digunakan untuk mengukur tegangan larutan gula lainnya. Kemudian larutan gula dengan variasi konsentrasi dapat diukur satu persatu menggunakan transduser kapasitif sehingga dari setiap konsentrasi larutan gula diperoleh data tegangan terukur (V_r) dengan perulangan pengukuran beberapa kali agar diperoleh *trend record* pengukuran dari alat.

Kemudian dengan langkah yang sama dilakukan pengukuran % konsentrasi larutan gula dengan referensi gula 80% sebagai pembanding pengukuran dengan referensi gula 95%

sebelumnya. Dari data-data tegangan tersebut akan diperoleh konsentrasi larutan terukur dari sampel gula tersebut sesuai dengan persamaan (Anonim, 2010);

$$\text{Konsentrasi} = \left| \frac{V_r - V_T}{V_T - V_b} \right| \times 100\%$$

Untuk tampilan layar LCD sistem transduser kapasitif “Gamaprolad versi 1.1” ditunjukkan pada gambar 1 berikut;



Gambar 1. Tampilan sistem transduser kapasitif 8- channel untuk pengukuran konsentrasi larutan (Anonim, 2010)

3. HASIL DAN DISKUSI

Hasil pengukuran tegangan larutan gula variasi konsentrasi menggunakan rerensi % konsentrasi gula 95% serta gula 80% sebagai pembandingan ditunjukkan pada tabel 1 dan tabel 2 yang mana tegangan terukur dan % kadar terukur oleh alat akan berbeda untuk setiap konsentrasi gula yang diukur. Hasil pengukuran ini sesuai dengan persamaan pada *manual book* dari transduser kapasitif yang tertera pada bagian “Metode Penelitian”. Dari tabel tersebut terlihat adanya *trend* data tegangan terukur (V_r) untuk setiap larutan yang diuji bahwa semakin besar % konsentrasi larutan uji maka tegangan terukur dari transduser kapasitif ini semakin rendah baik dengan menggunakan referensi % konsentrasi gula 95% maupun 80%. Artinya secara kimia fisik semakin tinggi konsentrasi gula dalam pelarut air maka akan semakin sukar bagi pelarut untuk menghantarkan muatan listrik sehingga larutan gula disebut sebagai larutan yang non-elektrolit karena tidak dapat menghantarkan arus listrik (dielektrik) dan ion-ion pelarut yang bercampur dengan kristal gula tidak memiliki interaksi antar atom yang tarik-menarik yang dapat menyebabkan adanya perpindahan atau pergeseran muatan listrik. Besarnya arus listrik yang mengalir didalam transduser kapasitif bergantung pada besarnya hambatan

penghantar dalam hal ini konsentrasi larutan gula yang digunakan. Semakin tinggi konsentrasi gula dalam pelarut air maka akan semakin besar pula hambatan dari larutan tersebut. Semakin besar hambatan maka akan semakin kecil arus yang mengalir melalui penghantar (larutan) tersebut. Karena besarnya daya hantar listrik berbanding terbalik dengan hambatan, dimana hambatan itu sendiri berbanding lurus dengan tegangan ataupun beda potensialnya.

Selanjutnya, pada dua kolom terakhir dari tabel tersebut juga terlihat bahwa semakin tinggi tegangan terukur dari larutan gula maka akan semakin rendah % kadar gula terukur, artinya tegangan terukur berbanding terbalik dengan % kadar larutan (untuk larutan polar atau non-elektrolit) seperti pada larutan gula.

Tabel 1. Hasil pengujian larutan gula dengan kontrol gula 80% menggunakan transduser kapasitif

Konsentrasi larutan Gula (%)	Vt (mV)	Vb (mV)	Vr (mV)	Kadar Gula terukur (%)
5	1300	331	1282	1.85
	1300	331	1283	1.75
	1300	331	1284	1.65
	1300	331	1287	1.34
	1300	331	1289	1.13
	1300	331	1287	1.34
10	1300	331	1260	4.12
	1300	331	1259	4.23
	1300	331	1261	4.02
	1300	331	1262	3.92
	1300	331	1263	3.81
	1300	331	1264	3.71
20	1300	331	1207	9.59
	1300	331	1212	9.08
	1300	331	1213	8.97
	1300	331	1225	7.73
	1300	331	1227	7.53
	1300	331	1227	7.53
50	1300	331	847	46.74
	1300	331	849	46.54
	1300	331	862	45.20
	1300	331	864	44.99
	1300	331	865	44.89
75	1300	331	689	63.05
	1300	331	690	62.95

	1300	331	705	61.40
--	------	-----	-----	-------

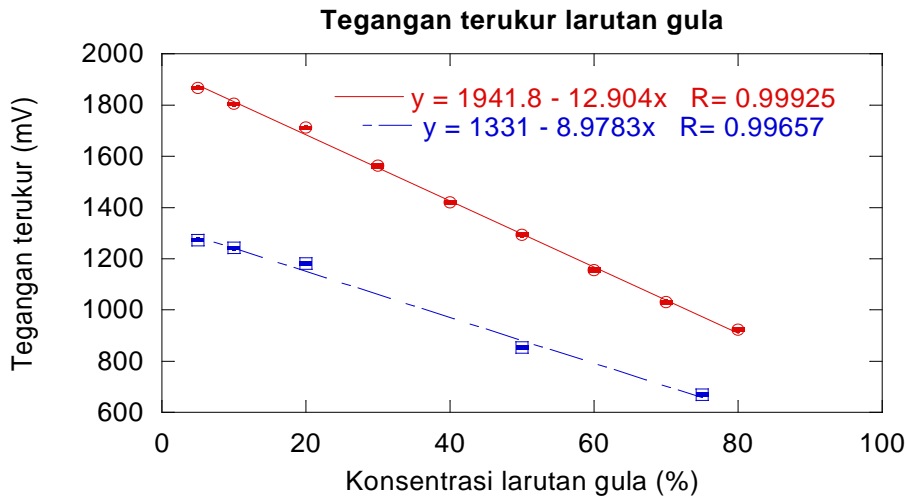
Catatan; V_t merupakan tegangan batas atas (top), V_b merupakan tegangan bawah (botton) dan V_r merupakan tegangan terukur pada sistim ECT

Tabel 2. Hasil pengujian larutan gula dengan kontrol gula 95% menggunakan Transduser kapasitif

Konsentrasi Larutan Gula (%)	V_t (mV)	V_b (mV)	V_r (mV)	Kadar Gula terukur (%)
5%	1929	626	1866	4.8
	1929	626	1872	4.4
	1929	626	1871	4.4
	1929	626	1865	4.9
	1929	626	1866	4.8
	1929	626	1870	4.5
10%	1929	626	1804	9.6
	1929	626	1801	9.8
	1929	626	1807	9.4
	1929	626	1805	9.5
	1929	626	1808	9.3
	1929	626	1812	9.0
20%	1929	626	1710	16.8
	1929	626	1714	16.5
	1929	626	1711	16.7
	1929	626	1712	16.6
	1929	626	1708	17.0
	1929	626	1704	17.3
30%	1929	626	1580	26.8
	1929	626	1567	27.8
	1929	626	1556	28.6
	1929	626	1578	26.9
	1929	626	1561	28.2
	1929	626	1559	28.4
40%	1929	626	1438	37.7
	1929	626	1432	38.1
	1929	626	1423	38.8
	1929	626	1414	39.5

	1929	626	1418	39.2
	1929	626	1415	39.4
50%	1929	626	1310	47.5
	1929	626	1302	48.1
	1929	626	1306	47.8
	1929	626	1283	49.6
	1929	626	1285	49.4
	1929	626	1288	49.2
60%	1929	626	1139	60.6
	1929	626	1169	58.3
	1929	626	1168	58.4
	1929	626	1147	60.0
	1929	626	1166	58.5
	1929	626	1158	59.1
70%	1929	626	1034	68.7
	1929	626	1032	68.8
	1929	626	1033	68.8
	1929	626	1024	69.4
	1929	626	1042	68.1
	1929	626	1038	68.4
80%	1929	626	928	76.8
	1929	626	930	76.7
	1929	626	917	77.7
	1929	626	920	77.4
	1929	626	922	77.3
	1929	626	931	76.6

Selain itu, data dari tabel dapat diplotkan dalam bentuk grafik perubahan konsentrasi larutan gula terhadap tegangan terukur. Gambar 2 menunjukkan hubungan antara konsentrasi larutan gula dengan tegangan terukur yang dihasilkan dari transduser kapasitif.



Gambar 2. Grafik hasil pengukuran tegangan larutan gula variasi konsentrasi menggunakan transduser kapasitif

Pada gambar tersebut, kedua garis korelasi menunjukkan semakin tinggi konsentrasi larutan gula sebagai referensi maka koefisien korelasinya akan semakin tinggi mendekati 1 dan sebaliknya. *Plotting* grafik menggunakan *software* Kaleidagraph yang berbasis pada operasi regresi linear untuk menentukan hubungan korelasi terbaik dan perbandingan antara dua konsentrasi referensi larutan gula yang digunakan terhadap respon dari alat transduser kapasitif ini.

Data konsentrasi yang dihasilkan kemudian dilakukan analisis ketidakpastian yaitu dengan menentukan nilai rata-ratanya kemudian ditentukan simpang baku (*standard deviation*) serta ketidakpastian baku dari pengukuran tersebut. Untuk ketidakpastian baku dari konsentrasi larutan diperoleh dari selisih konsentrasi terukur dengan konsentrasi sebenarnya. Konsentrasi sebenarnya adalah konsentrasi larutan bahan yang ditentukan sebelum di masukkan ke transduser kapasitif untuk diukur konsentrasinya. Sedangkan ketidakpastian baku tegangan larutan terukur adalah selisih masing-masing data pengukuran dengan tegangan rata-ratanya.

Dari pengolahan data dengan analisis ketidakpastian, maka diperoleh deviasi standar dan ketidakpastian yang ditunjukkan pada tabel 3;

Tabel 3. Ketidakpastian dan deviasi standar dari konsentrasi larutan gula dengan referensi gula 95% menggunakan transduser kapasitif

Konsentrasi Larutan (%)	Konsentrasi Terukur (%)	Standar Deviasi (%)	Ketidakpastian (%)
5	4.7	0.3	0.1
10	9.6	0.6	0.2
20	16.7	3.5	1.1
30	28.1	2.1	0.6

40	39.1	1.2	0.3
50	48.8	1.4	0.4
60	59.3	1.1	0.3
70	69.0	1.2	0.3
80	77.2	3.0	1.0

Dari data ketidakpastian tabel 3, terdapat sembilan titik pengukuran konsentrasi larutan yang telah dilakukan pengulangan masing-masing sepuluh kali untuk setiap titiknya. Kemudian ditentukan *budget* ketidakpastian dari kesembilan titik pengukuran tersebut, sehingga akan menunjukkan kualitas pengukuran konsentrasi larutan gula yang ditunjukkan oleh ketidakpastian bentangannya. Nilai ketidakpastian merupakan nilai yang masih bisa diterima atau diberikan pada alat ukur. Hasil perhitungan untuk *budget* ketidakpastiannya ditampilkan dalam model *spreadsheet* pada tabel 4.

Analisis metrologi yang ditunjukkan pada tabel 4 menggunakan evaluasi ketidakpastian baku tipe A dengan faktor cakupan 2 yang menunjukkan tingkat kepercayaan terhadap data hasil pengukuran sebesar 95%. Dari hasil perhitungan, diperoleh nilai ketidakpastian bentangan (*expanded uncertainty*) yang berbeda-beda untuk setiap konsentrasi larutan. Pada konsentrasi gula 5% diperoleh konsentrasi terukur sebesar $(4,7 \pm 0,2)$ persen, konsentrasi 10% diperoleh konsentrasi $(9,6 \pm 0,4)$ persen, konsentrasi 20% diperoleh konsentrasi $(16,7 \pm 2,2)$ persen, konsentrasi 30% diperoleh konsentrasi $(28,1 \pm 1,2)$ persen, konsentrasi 40% diperoleh $(39,1 \pm 0,6)$ persen, konsentrasi 50% diperoleh $(48,4 \pm 0,8)$ persen, konsentrasi 60% diperoleh $(59,3 \pm 0,6)$ persen, konsentrasi 70% diperoleh $(69,0 \pm 0,6)$ persen dan konsentrasi gula 80% diperoleh konsentrasi terukur $(77,2 \pm 2,0)$ persen. Nilai-nilai berupa ketidakpastian bentangan untuk konsentrasi terukur tersebut mengisyaratkan interval disekitar hasil pengukuran yang mencakup sebagian besar distribusi nilai yang dapat diberikan pada besaran ukur dengan nilai ketidakpastian terbesar 2,0%.

Selanjutnya, untuk pengukuran konsentrasi larutan gula menggunakan referensi gula 80% sebagai pembanding pengukuran sebelumnya hanya menggunakan lima titik uji. Hasil perhitungan ketidakpastian dan deviasi standar dari pengukurannya ditampilkan pada tabel 5. Kemudian dapat dilakukan perhitungan budget ketidakpastian pengukurannya. Hasil penentuan *budget* ketidakpastian pengukuran untuk lima titik pengukuran menggunakan evaluasi ketidakpastian tipe A dan faktor cakupan 2 disajikan pada tabel 6.

Tabel 4. Model spreadsheet yang menunjukkan budget ketidakpastian pengukuran konsentrasi larutan gula dengan referensi gula 95%

Concentration	Source of uncertainty	Value \pm	Probability distribution	Divisor	Standard uncertainty
5%	Resolution (size of division)	0,1 %	Rectangular	$\sqrt{3}$	0,1 %
	Standard uncertainty of mean 10 repeated reading	0,1 %	Normal	1	0,1 %
	Combined standard uncertainty		Assumed normal		0,1 %
	Expanded uncertainty		Assumed normal (k=2)		0,2 %
10%	Resolution (size of division)	0,1 %	Rectangular	$\sqrt{3}$	0,1 %
	Standard uncertainty of mean 10 repeated reading	0,2 %	Normal	1	0,2 %
	Combined standard uncertainty		Assumed normal		0,2 %
	Expanded uncertainty		Assumed normal (k=2)		0,4 %
20%	Resolution (size of division)	0,1 %	Rectangular	$\sqrt{3}$	0,1 %
	Standard uncertainty of mean 10 repeated reading	1,1 %	Normal	1	1,1 %
	Combined standard uncertainty		Assumed normal		1,1 %
	Expanded uncertainty		Assumed normal (k=2)		2,2 %
30%	Resolution (size of division)	0,1 %	Rectangular	$\sqrt{3}$	0,1 %
	Standard uncertainty of mean 10 repeated reading	0,6 %	Normal	1	0,6 %
	Combined standard uncertainty		Assumed normal		0,6 %
	Expanded uncertainty		Assumed normal (k=2)		1,2 %
40%	Resolution (size of division)	0,1 %	Rectangular	$\sqrt{3}$	0,1 %
	Standard uncertainty of mean 10 repeated reading	0,3 %	Normal	1	0,3 %
	Combined standard uncertainty		Assumed normal		0,3 %
	Expanded uncertainty		Assumed normal (k=2)		0,6 %

50%	Resolution (size of division)	0,1 %	Rectangular	$\sqrt{3}$	0,1 %
	Standard uncertainty of mean 10 repeated reading	0,4 %	Normal	1	0,4 %
	Combined standard uncertainty		Assumed normal		0,4 %
	Expanded uncertainty		Assumed normal (k=2)		0,8 %
60%	Resolution (size of division)	0,1 %	Rectangular	$\sqrt{3}$	0,1 %
	Standard uncertainty of mean 10 repeated reading	0,3 %	Normal	1	0,3 %
	Combined standard uncertainty		Assumed normal		0,3 %
	Expanded uncertainty		Assumed normal (k=2)		0,6 %
70%	Resolution (size of division)	0,1 %	Rectangular	$\sqrt{3}$	0,1 %
	Standard uncertainty of mean 10 repeated reading	0,3 %	Normal	1	0,3 %
	Combined standard uncertainty		Assumed normal		0,3 %
	Expanded uncertainty		Assumed normal (k=2)		0,6 %
80%	Resolution (size of division)	0,1 %	Rectangular	$\sqrt{3}$	0,1 %
	Standard uncertainty of mean 10 repeated reading	1 %	Normal	1	1 %
	Combined standard uncertainty		Assumed normal		1,0 %
	Expanded uncertainty		Assumed normal (k=2)		2,0 %

Tabel 5. Ketidakpastian dan deviasi standar dari pengukuran larutan gula dengan referensi gula 80% menggunakan transduser kapasitif

Konsentrasi Larutan gula (%)	Konsentrasi Terukur (%)	Deviasi standar (%)	Ketidakpastian (%)
5	2.8	2.4	1.0
10	6.0	4.4	1.8
20	12.4	8.4	3.0
50	46.0	4.5	2.0
75	65.0	11.2	5.0

Tabel 6. Model *spreadsheet* yang menunjukkan budget ketidakpastian pengukuran konsentrasi larutan gula dengan referensi gula 80%

Concentration	Source of uncertainty	Value \pm	Probability distribution	Divisor	Standard uncertainty
5%	Resolution (size of division)	0,1 %	Rectangular	$\sqrt{3}$	0,1 %
	Standard uncertainty of mean 10 repeated reading	1,0 %	Normal	1	1,0 %
	Combined standard uncertainty		Assumed normal		1,0 %
	Expanded uncertainty		Assumed normal (k=2)		2,0 %
10%	Resolution (size of division)	0,1 %	Rectangular	$\sqrt{3}$	0,1 %
	Standard uncertainty of mean 10 repeated reading	1,8 %	Normal	1	1,8 %
	Combined standard uncertainty		Assumed normal		1,8 %
	Expanded uncertainty		Assumed normal (k=2)		3,6 %
20%	Resolution (size of division)	0,1 %	Rectangular	$\sqrt{3}$	0,1 %
	Standard uncertainty of mean 10 repeated reading	3,4 %	Normal	1	3,4 %
	Combined standard		Assumed normal		3,4 %

	uncertainty				
	Expanded uncertainty		Assumed normal (k=2)		6,8 %
50%	Resolution (size of division)	0,1 %	Rectangular	$\sqrt{3}$	0,1 %
	Standard uncertainty of mean 10 repeated reading	2,0 %	Normal	1	2,0 %
	Combined standard uncertainty		Assumed normal		2,0 %
	Expanded uncertainty		Assumed normal (k=2)		4,0 %
75%	Resolution (size of division)	0,1 %	Rectangular	$\sqrt{3}$	0,1 %
	Standard uncertainty of mean 10 repeated reading	5,0 %	Normal	1	5,0 %
	Combined standard uncertainty		Assumed normal		5,0 %
	Expanded uncertainty		Assumed normal (k=2)		10,0 %

Analisis metrologi yang ditunjukkan pada tabel 6 menggunakan evaluasi ketidakpastian baku tipe A dengan faktor cakupan 2 yang menunjukkan tingkat kepercayaan terhadap data hasil pengukuran sebesar 95%. Dari hasil perhitungan, diperoleh nilai ketidakpastian bentangan (*expanded uncertainty*) yang berbeda-beda untuk setiap konsentrasi larutan. Nilai-nilai berupa ketidakpastian bentangan untuk konsentrasi terukur tersebut mengisyaratkan interval disekitar hasil pengukuran yang mencakup sebagian besar distribusi nilai yang dapat diberikan pada besaran ukur dan cenderung cukup besar dibandingkan dengan pengukuran dengan referensi gula 95% sebelumnya.

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian pengukuran menggunakan transduser kapasitif, bahwa semakin besar % konsentrasi larutan uji maka tegangan terukur (dalam mV) semakin rendah baik dengan menggunakan referensi % konsentrasi gula 95% maupun 80%. Kemudian, semakin tinggi nilai tegangan terukur (dalam mV) dari suatu larutan bahan maka akan semakin rendah % kadar bahan terukurnya (gula). Hasil penentuan nilai kadar bahan dielektrik (gula) variasi konsentrasi menggunakan transduser kapasitif secara metrologi; untuk referensi gula 95% diperoleh ketidakpastian kadar terukur terbesar 2,2%, sedangkan untuk referensi gula 80% diperoleh ketidakpastian kadar terukur terbesar 10%.

Dengan demikian, transduser kapasitif ini mempunyai potensi yang cukup bagus sebagai alat portabel alternatif untuk mengukur konsentrasi larutan dengan cepat tanpa preparasi sampel.

DAFTAR PUSTAKA

1. Anonim, 2010, Manualbook Instruksi Pengguna Gama Prolad Version 1.5, Yogyakarta, Tim LPPT Unit II UGM.
2. Eryolamda, Reny, 2010, Kajian Respons Frekuensi Tetap Dielektrik Material Keramik Calcium Copper Titanate ($\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$), *Prosiding Pertemuan Ilmiah XXV HFI Jateng & DIY*, Laboratorium Fisika Zat Padat, Jurusan Fisika FMIPA UGM.
3. Horng, Shin, Chong, 2003, Hardware Development of Electrical Capacitance Tomography Applying AC-based Concept, *Tesis*, Universiti Teknologi Malaysia.
4. Rejikumar dan J.Philip, 2010, Estimation of dry rubber content in natural rubber latex by differential scanning calorimetry, *Journal Thermal, Analysis and Calorimetry*, Springer, 101 (2010), 1047-1050.
5. Sehad, Abdullah dan Zaroh Irayani, 2009, Pemanfaatan Teknik Lissajous untuk Mengetahui Korelasi antara Kandungan Air terhadap Sifat Dielektrik Tanah, *Berkala Fisika*, 12, 77-84. ISSN: 1410-9662
6. Utomo, Hadi, Priyo, 2011, Pengaruh Lama Penggerusan terhadap Konstanta Dielektrik, Kekerasan, dan Mikrostruktur Keramik Oksida $\text{SiO}_2\text{-MgO}$, *Skripsi*, Universitas Negeri Malang
7. Wang, S., Tang, J., Johnson, J.A., Mitcham, E., Hansen, J.D., Hallman, G., Drake, S.R. and Wang, Y., 2003, Dielectric Properties of Fruits and Insect Pest as Related to Radio Frequency and Microwave Treatments, *Biosystem Engineering (2003)*, 85 (2), 201 – 212.
8. Zhao, Zhi-Min. 2010, A novel measurement system for dry rubber content in concentrated natural latex based annular photoelectric sensors, *International Journal of Physical Sciences*, Vol. 5(3), 251-260.