

Rancang Bangun Sistem Instrumentasi Pengukur Level Cairan Berbasis Sensor kapasitif

Maulana Fakh Latief^{1,*}, Sastra Kusuma Wijaya

¹Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Depok 16424, Indonesia

Abstrak

Telah dikembangkan sebuah sistem instrumentasi pengukur level cairan pada suatu wadah menggunakan sensor kapasitif. Sensor terdiri dari dua pelat elektroda tembaga yang ditempelkan pada wadah yang non-konduktif. Pengukuran dilakukan dengan menginjeksikan sinyal gelombang-sinus pada elektroda pengirim dan kemudian mengukur besar sinyal yang diterima di elektroda penerima. Sinyal sinus yang disuntikkan berorde Ratusan Kilo-Hertz untuk mendapatkan respon cepat terhadap perubahan kondisi level. Data ketinggian level cairan adalah konversi dari perbandingan tegangan-RMS sinyal yang diterima terhadap sinyal yang dikirimkan. Sinyal pada elektroda penerima akan diteruskan ke sistem pengkodisi sinyal yang terdiri dari penyaring tapis rendah, RMS to DC Converter, ADC, dan antarmuka USB

Kata Kunci: *Kata Kunci: capacitive sensor; liquid level sensor; non-contact sensor.*

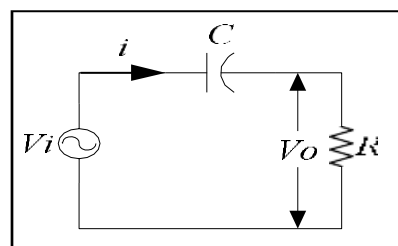
1. PENDAHULUAN

Level cairan dalam suatu wadah penyimpanan merupakan salah satu variabel penting yang diperlukan untuk diukur dan dikendalikan dalam proses industri. Banyak tipe sensor yang dapat digunakan untuk mengukurnya. Salahsatu yang berkembang saat ini adalah bertipe kapasitif. Hal tersebut dikarenakan sensor kapasitif menawarkan beberapa keunggulan dibandingkan dengan sensor lain, yaitu biaya rendah, daya rendah, stabilitas yang baik, resolusi yang baik, dan respon yang cepat. Sensor kapasitif juga memiliki koefisien temperatur yang mendekati-nol [9]. Ada dua jenis pengukuran level cairan dengan menggunakan sensor kapasitif, yaitu elektroda sensor kapasitif yang terendam, dan yang non-kontak. Pada jenis yang terendam, pengukuran level dapat terganggu karena efek dari reaksi fisik atau kimiawi antara elektroda dengan cairan.

Pada penelitian ini dirancang sebuah sistem sensor kapasitif non-kontak yang terdiri dari dua pelat elektroda tembaga yang diletakkan di bagian luar wadah. Air dan atau udara di antaranya menjadi media dielektrik dari sistem sensor kapasitif. Rangkaian penggerak sensor kapasitif yang digunakan relatif baru pada sistem pengukuran level cairan dengan sensor kapasitif. Sinyal sinus berorde ratusan-kilo- Hertz diinjeksikan pada elektroda pengirim. Pada tahap lanjutan, sinyal sinus yang diterima oleh elektroda penerima akan diubah menjadi sinyal arus searah oleh *RMS to DC Converter*.

Tinjauan Teoritis

Persamaan nilai kapasitansi dalam rangkaian RC pada Gambar 1 dapat dituliskan seperti pada Persamaan 1.

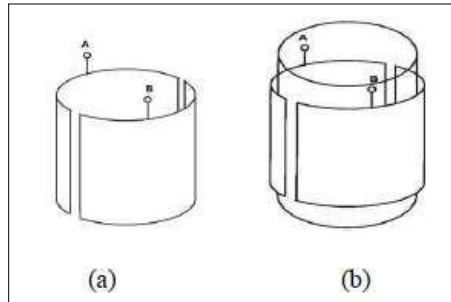


Gambar 1. Rangkaian RC dengan SumberTegangan AC.

^{1*}E-mail korespondensi : maulana.latief@outlook.com; skwijaya@sci.ui.ac.id

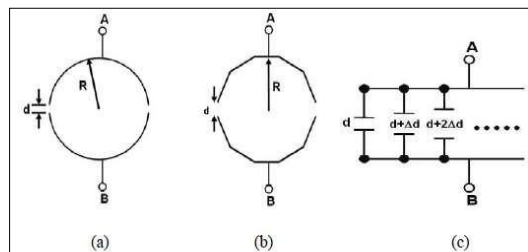
$$C = \frac{1}{2\pi f(\frac{1}{\epsilon_0} - 1)R} \tag{1}$$

Sagarika Pal dan Rasmiprava Barik (2010) [11] telah memberikan paparan pendekatan diskrit dalam kasus sensor kapasitif semi- silinder: Sensor kapasitif semi-silinder terdiri dari dua lembar tembaga semi-silinder, yang terpisah oleh celah. Gambar 2. (a) dan (b) memperlihatkan arsitektur sensor kapasitif dengan dan tanpa cairan dielektrik.



Gambar 2. Arsitektur Sensor Kapasitif Semi-Silinder: (a) Tanpa Cairan Dielektrik; (b) Dengan Cairan Dielektrik.

Dalam Gambar 2.(a) material dielektriknya adalah udara, sehingga konstanta dielektrik ϵ_1 adalah 1. Gambar 3.(a) memperlihatkan tampak-atas dari sensor kapasitif semi-silinder tanpa cairan dielektrik. Dua lembar tembaga semi-silinder memiliki radius R , dan celah terkecil d .

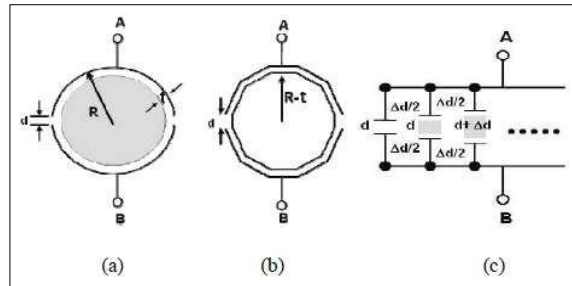


Gambar 3. Tampak-Atas dari Sensor Kapasitif Semi-Silinder tanpa Cairan Dielektrik; (b) Metoda Analisis Pendekatan Diskrit Sensor Kapasitif Semi-Silinder; (c) Kapasitor Pengganti antara Terminal A dan B.

Kapasitansi antara dua lembar metal semi- silinder dapat dilakukan pendekatan sebagai deretan pasangan dua lembar metal dengan kenaikan celah sebesar Δd . Sehingga persamaan kapasitansi tersebut dapat dituliskan seperti Persamaan 2

$$C_0 = \epsilon_0 \epsilon_1 \frac{2A}{d} \left[\frac{1}{2} + \dots + \frac{1}{2n-1} \right] + \frac{50n1A}{2R}$$

Yang mana ϵ_0 adalah konstanta permitivitas ruang-bebas sebesar $8.85 (pF/m)$, ϵ_1 adalah konstanta dielektrik dari udara, n adalah jumlah irisan analisis pendekatan diskrit, dan A adalah luas dari metal semi-silinder. Dalam penelitian, dua lembar elektroda tembaga semi-silinder dilekatkan pada wadah air berupa akrilik silinder yang memiliki tebal t seperti yang diperlihatkan Gambar 4.



Gambar 4. Tampak-Atas dari Sensor Kapasitif Semi-Silinder dengan Cairan Dielektrik; (b) Metoda Analisis Pendekatan Diskrit Sensor Kapasitif Semi-Silinder; (c) Kapasitor Pengganti antara Terminal A dan B.

Pendekatan kapasitansi antara dua lembar tembaga semi-silinder dengan wadah akrilik yang terisi penuh oleh cairan ditunjukkan oleh Persamaan 3.

$$C = \epsilon_0 2A \left[\frac{1}{d} + \dots + \frac{1}{\frac{\Delta d}{2} + d + \Delta d(n-1)} \right] + \frac{s_0 A}{\frac{2t}{s_2} + \frac{2R-2t}{s_3}} \quad (3)$$

Yang mana ϵ_2 adalah konstanta dielektrik dari akrilik, ϵ_3 konstanta dielektrik dari cairan, dan t adalah ketebalan dari wadah akrilik. Selanjutnya dengan memasukkan h , yang adalah ketinggian dari lembar semi-silinder, kedalam Persamaan 3, maka Persamaan 3 akan menjadi Persamaan 4.

$$C_1 = \epsilon_0 2(\pi R h) \left[\frac{1}{d} + \dots + \frac{1}{\frac{\Delta d}{2} + d + \Delta d(n-1)} \right] + \frac{s_0(\pi R h)}{\frac{2t}{s_2} + \frac{2R-2t}{s_3}} \quad (4)$$

Ukuran maksimum level cairan dalam sistem pengukuran level adalah setinggi h lembar elektroda tembaga semi-silinder. Jika pada suatu saat wadah akrilik hanya terisi sebagian setinggi h_1 (dengan dielektrik ϵ_3), dan ketinggian sisa $h_2 = (h-h_1)$ terisi oleh udara (dielektrik ϵ_1), maka total kapasitansi C akan dapat terpenuhi oleh Persamaan 5.

$$C = C_1 + C_2 \quad (5)$$

Yang mana:

$$C_1 = \epsilon_0 2(\pi R h_1) \left[\frac{1}{d} + \dots + \frac{1}{\frac{\Delta d}{2} + d + \Delta d(n-1)} \right] + \frac{s_0(\pi R h_1)}{\frac{2t}{s_2} + \frac{2R-2t}{s_3}}$$

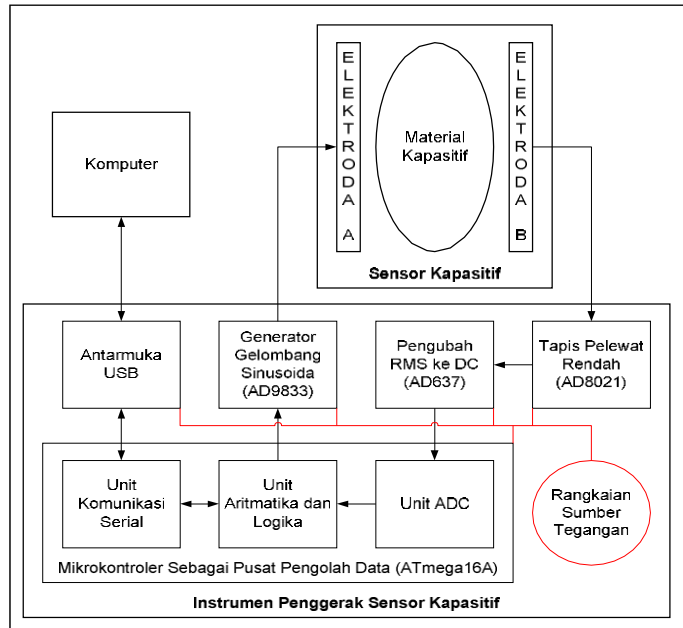
$$C_2 = \epsilon_0 2(\pi R h_2) \left[\frac{1}{d} + \dots + \frac{1}{\frac{\Delta d}{2} + d + \Delta d(n-1)} \right] + \frac{s_0(\pi R h_2)}{\frac{2t}{s_2} + \frac{2R-2t}{s_1}}$$

Jadi, jika ketinggian level cairan h_1 di dalam silinder bervariasi, kapasitansi di antara dua lembar semi-silinder pun akan bervariasi dikarenakan variasi dari ketinggian medium dielektrik. Sehingga pengukuran level cairan dengan elektroda semi-silinder dapat dilakukan.

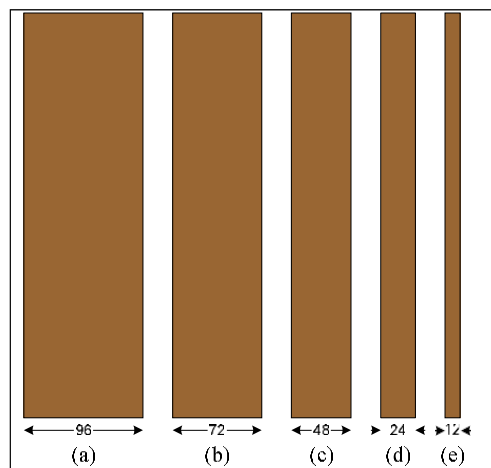
2. BAHAN DAN METODE

Skema diagram rancangan global dari Sistem Instrumentasi Pengukur Level Cairan diperlihatkan oleh Gambar 5. Dalam penelitian, digunakan lima ukuran lebar elektroda tembaga dengan ketebalan dan ketinggian yang sama: 96x2x330 mm, 72x2x330 mm, 48x2x330 mm, 24x2x330 mm, dan 12x2x330 mm, seperti yang terlihat di Gambar 5. Frekuensi uji dimulai dari 100 kHz sampai dengan 2 MHz dengan

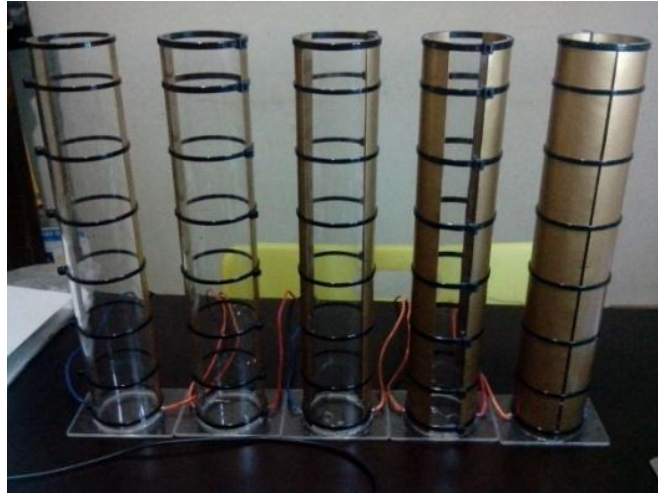
kenaikan 100 kHz per uji. Pengujian respon frekuensi dilakukan pada tiga kondisi isi wadah, yaitu 100% udara, 50% udara dan 50% air, dan 100% air. Setelah didapatkan respon frekuensi yang terbaik dari sensor, maka selanjutnya frekuensi tersebut digunakan untuk meneliti respon sensor terhadap ketinggian level air. Level air uji dimulai dari lima milimeter sampai dengan 330 milimeter dengan kenaikan lima milimeter per uji.



Gambar 5. Rancangan Global Sistem Instrumentasi Pengukur Level Cairan Berbasis Sensor Kapasitif.



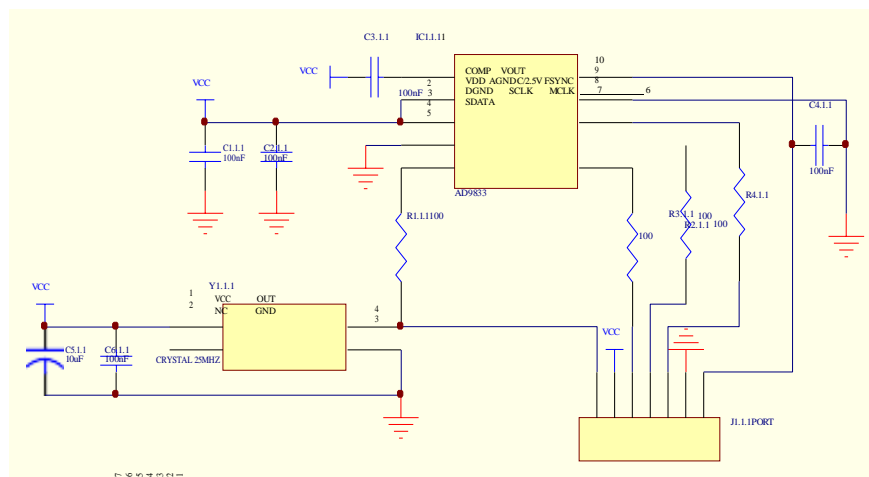
Gambar 6. Lembar Elektroda Tembaga yang Digunakan sebagai Sensor Kapasitif.



Gambar 7. Sensor Kapasitif Semi-Silinder sebagai Sensor Level Cairan.

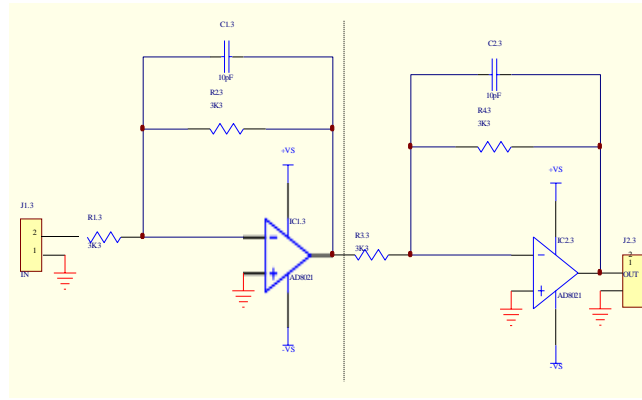
Proses penelitian diawali dengan meneliti respon sensor terhadap frekuensi yang berbeda. Frekuensi uji dimulai dari 100 kHz sampai dengan 2 MHz dengan kenaikan 100 kHz per uji. Pengujian respon frekuensi dilakukan pada tiga kondisi isi wadah, yaitu 100% udara, 50% udara dan 50% air, dan 100% air. Setelah didapatkan respon frekuensi yang terbaik dari sensor, maka selanjutnya frekuensi tersebut digunakan untuk meneliti respon sensor terhadap ketinggian level air. Level air uji dimulai dari lima milimeter sampai dengan 330 milimeter dengan kenaikan lima milimeter per uji.

Gambar 8 adalah Rangkaian Generator Sinyal Sinusoidal, gelombang dibangkitkan oleh IC AD9833 yang adalah IC generator gelombang yang dapat diprogram tipe, frekuensi, dan fase gelombang keluarannya. Kemudian keluaran dari IC AD9833 dikuatkan amplitudonya oleh rangkaian penguat yang menggunakan IC operational amplifier AD8021.



Gambar 8. Rangkaian Generator Sinyal Gelombang berbasis AD9833.

Untuk mengurangi faktor sinyal *noise* (gangguan) alam yang berfrekuensi tinggi, maka instrumen ini menggunakan rangkaian *Low Pass Filter* (Tapis Lolos Rendah) seperti pada Gambar 9. Rangkaian tersebut adalah rangkaian Tapis Lolos Rendah berorde dua yang tersusun dari dua rangkaian: Tapis Lolos Rendah Pembalik berorde satu, dan kedua rangkaian Tapis Lolos Rendah berorde satu menggunakan nilai resistor dan kapasitor yang sama, sehingga persamaan nilai frekuensi *cutoff*-nya memenuhi Persamaan 6. Jenis tapis ini adalah tapis aktif, sehingga tiap tapis memiliki kemampuan penguatan sinyal yang sesuai dengan Persamaan 7.



Gambar 9. Rangkaian Tapis Aktif PelewatRendah Pembalik Menggunakan Operational-Amplifier AD8021.

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \tag{6}$$

$$R = 3300; C = 10 \times 10^{-12}$$

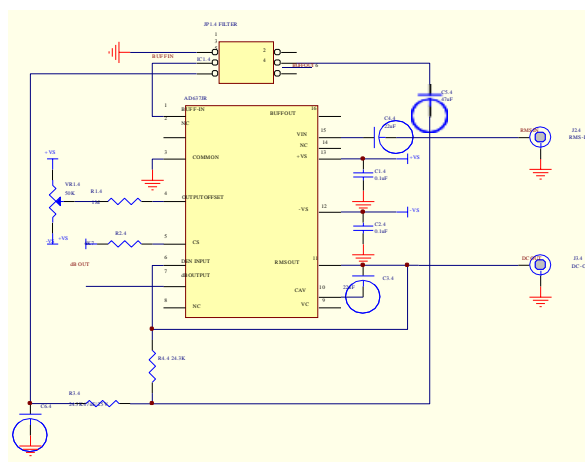
$$f_c = 4.822.877,063 \text{ Hz}$$

$$A = - \frac{R_{n+1}}{R_n} \tag{7}$$

$$R_{n+1} = R_n = 3300$$

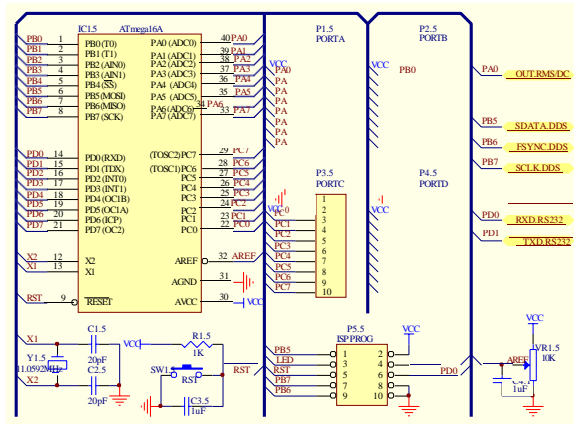
$$A = -1$$

Sinyal yang telah ditapis (*filtered*) dari sinyal gangguan, kemudian diolah oleh rangkaian Pengubah Sinyal-RMS ke Sinyal-DC seperti pada Gambar 10. Rangkaian ini didasarkan pada IC AD637JR. IC ini adalah IC yang dikhususkan untuk mengubah sinyal-RMS ke sinyal-DC dengan lebar-pita kerja maksimal 8mHz di 2 Vrms dan 600 kHz di 100 mili-Vrms.

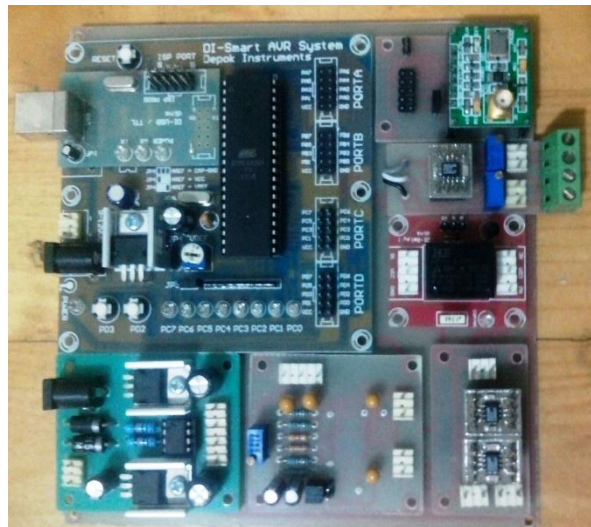


Gambar 10. Rangkaian Pengubah Sinyal-RMS ke Sinyal-DC.

Instrumen ini menggunakan mikrokontroler ATmega16A produksi Atmel sebagai pengendali proses. Mikrokontroler inilah yang mengendalikan IC AD9833 untuk menggenerasi sinyal sinus dengan frekuensi tertentu. Selanjutnya, mengendalikan rangkaian pemilih, untuk memilih sinyal yang akan diproses oleh rangkaian pengkondisi sinyal. Selain itu, hasil konversi dari Rangkaian Pengubah Sinyal-RMS ke Sinyal- DC pun akan diterima oleh unit ADC dari mikrokontroler, dan kemudian diolah menjadi data digital dan dikirimkan oleh unit serial UART dari ATmega16A ke komputer. Seluruh elemen diintegrasikan menjadi satu unit PCB yang kompak seperti ditunjukkan oleh Gambar 12.



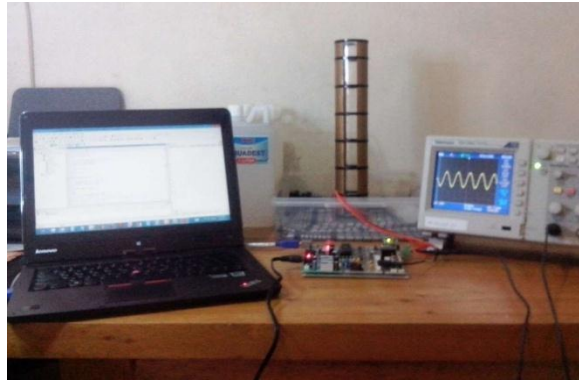
Gambar 11. Rangkaian Mikrokontroler ATmega16A.



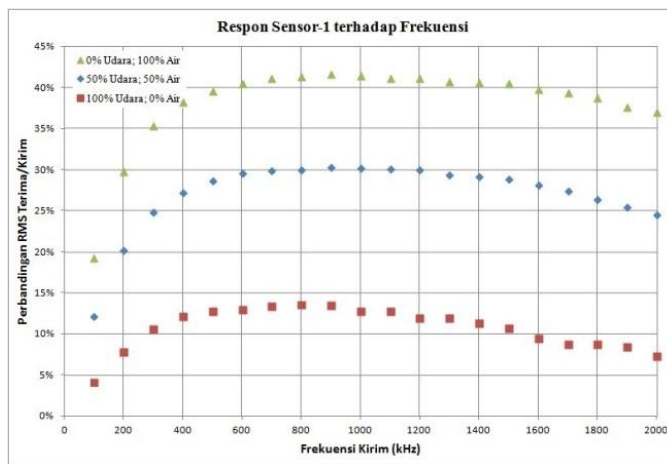
Gambar 12. Foto Gabungan Seluruh Rangkaian menjadi Sistem Instrumen Pengukur Sensor Kapasitif.

3. HASIL DAN BAHASAN

Data ADC mikrokontroler yang dikirimkan dengan menggunakan format data serial UART. Pada Gambar 13, diperlihatkan proses pengukuran dan pengamatan data sensor kapasitif. Osiloskop digunakan untuk memastikan frekuensi yang dikeluarkan oleh generator sinyal gelombang sesuai dengan yang didatakan.

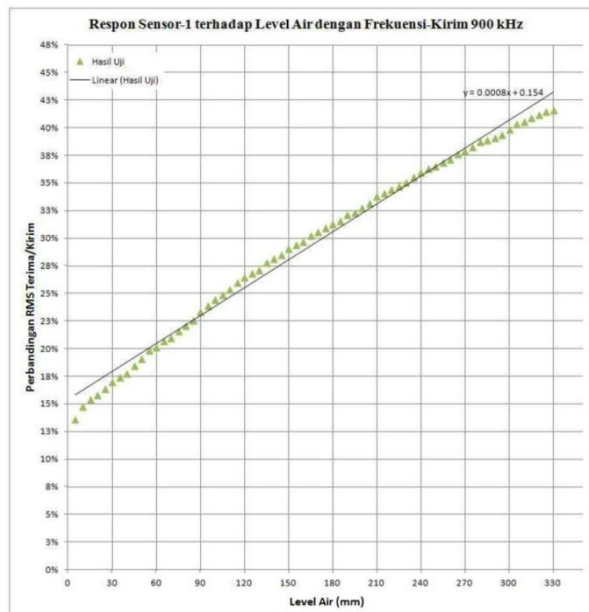


Gambar 13. Foto Proses Pengukuran Sensor Kapasitif dan Pengamatan DataPengukuran



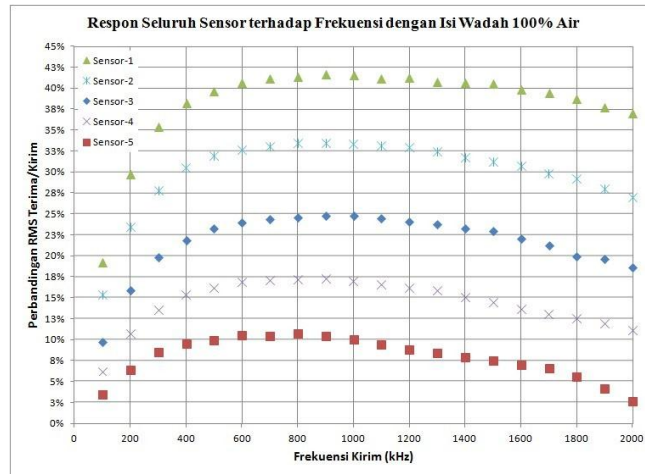
Gambar 14. Respon Sensor-1 terhadapFrekuensi.

Dari Gambar 14, frekuensi yang terpilih untuk Sensor-1 (sensor dengan lebar tembaga terbesar = 96 mm) dalam pengujian selanjutnya adalah 900 kHz. Pengujian selanjutnya adalah menguji sensor kapasitif semi-silinder responnya terhadap ketinggianlevel air dengan frekuensi-kirim yang digunakan 900 kHz.



Gambar 15. Respon Sensor-1 terhadapLevel Air dengan Frekuensi-Kirim 900kHz.

Dengan metode yang sama seperti sebelumnya, dalam penelitian didapatkan ada kecenderungan frekuensi terbaik yang digunakan berbanding lurus dengan lebar tembaga dalam sensor, sehingga digunakan dua frekuensi: Sensor-1, Sensor-2, dan Sensor-3 menggunakan frekuensi 900 kHz, sedangkan Sensor-4 dan Sensor-5 menggunakan frekuensi 700 kHz.

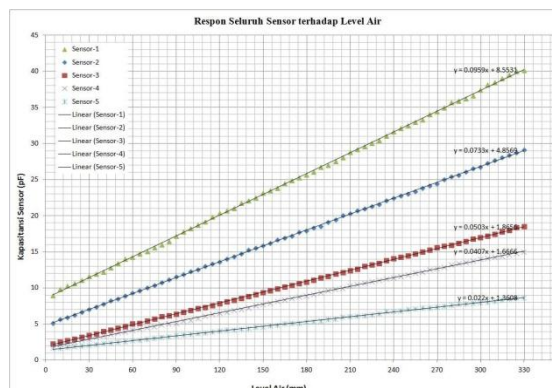


Gambar 16. Respon Sensor-1 sampai dengan Sensor-5 terhadap Frekuensi dengan Isi Wadah 100% Air.

Dari hasil percobaan pada Tabel 1, didapatkan hasil rerata impedansi dari rangkaian pengkondisi sinyal, R , sebesar 3142,25 Ohm. Dengan menggunakan Persamaan 1 dan nilai R yang didapatkan, maka data perbandingan sinyal-terima terhadap sinyal-kirim dari Sensor-1 sampai dengan Sensor-5 dalam pengujian respon sensor terhadap level cairan dapat diubah menjadi data kapasitif. Gambar 16 menunjukkan grafik nilai kapasitansi Sensor-1 sampai dengan Sensor-5 terhadap level air.

Tabel 1. Pengujian untuk Mendapatkan Nilai Impedansi Rangkaian Pengkondisi Sinyal.

#N	TX	RX	TX/RX	(TX/RX)-1	R (Ohm)
1	434.02	103.54	4.19	3.19	3101.69
2	433.30	105.05	4.12	3.12	3168.30
3	435.23	103.91	4.19	3.19	3104.88
4	432.72	103.89	4.17	3.17	3127.79
5	433.67	104.59	4.15	3.15	3146.47
6	435.57	104.86	4.15	3.15	3139.05
7	435.76	104.89	4.15	3.15	3138.43
8	434.28	106.29	4.09	3.09	3208.24
9	433.53	104.83	4.14	3.14	3157.34
10	433.25	104.08	4.16	3.16	3130.27
				Rerata:	3142.25



Gambar 17. Respon Sensor-1 sampai dengan Sensor-5 terhadap Level Air.

Kesimpulan

1. Penggunaan metode pengiriman sinyal sinus pada elektroda pengirim dan mengukur sinyal yang diterima pada elektroda penerima dari sensor kapasitif dengan frekuensi tinggi mempercepat proses pengukuran terhadap dinamika objek dielektrik sensor kapasitif. Tetapi pada batas frekuensi tertentu hadir reaktansi-induktif yang memperkecil sinyal yang diterima oleh elektroda penerima sensor kapasitif.
2. Pada penelitian, IC AD9833 berfungsi dengan baik sebagai generator gelombang sinus dalam rentang frekuensi 100 kHz sampai dengan 2 MHz.
3. Pada penelitian, IC AD637JR berfungsi dengan baik sebagai pengubah sinyal sinus-RMS menjadi sinyal-DC dalam rentang frekuensi 100 kHz sampai dengan 2 MHz dan amplitudo di sekitar 5 VPP.
4. Besar kapasitansi sensor kapasitif semi- silinder berbanding lurus terhadap luas penampang.
5. Dari penelitian dapat disimpulkan bahwa sensor kapasitif semi-silinder memiliki akurasi, presisi, dan linieritas yang baik.

Referensi

- [1] Analog Device. "High Precision, Wideband RMS-to-DC Converter." *AD637 datasheet*. Rev. Okt. 2013.
- [2] Analog Device. "Low Noise, High Speed Amplifier for 16-Bit Systems." *AD8021 datasheet*. Rev. Aug. 2013.
- [3] Analog Device. "Low Power, 12.65 mW, 2.3 V to 5.5 V, Programmable Waveform Generator." *AD9833 datasheet*. Rev. 2012.
- [4] Atmel. "8-bit AVR Microcontroller with 16K Bytes In-System Programmable Flash." *ATmega16A-PU datasheet*. Rev. Jul. 2009.
- [5] Maxim. "MAX220-MAX249 +5V- Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers." *MAX220-MAX249 datasheet*. Rev. Jul. 2010.
- [6] Clayton, George, dan Steve Winder. *Operational Amplifiers*. Edisi Kelima. Terj. Wiwit Kastawan. Jakarta: Penerbit Erlangga, 2003.
- [7] Ardianto, Donie Agus. *Rancang Bangun Sistem Akuisisi Data Tomografi Elektrik*

- Kapasitansi Berbasis FPGA Untuk Deteksi Dini Kanker Payudara*. Depok: Universitas Indonesia, 2012.
- [8] Hidayat, Asep Rahmat. *Perancangan Sensor Electrical Capacitance Tomography (ECT) Untuk Deteksi Dini Kanker Payudara*. Depok: Universitas Indonesia, 2012.
- [9] Tianming Chen. *Capacitive Sensors for Measuring Complex Permittivity of Planar and Cylindrical Structures*. Ames, Iowa: Iowa State University, 2012.
- [10] Baxter, Larry K. "Capacitive Sensors Offer Numerous Advantages." *Electronic Design* Jan 26. 1998: 46.
- [11] Pal, Sagarika, and Rasmiprava Barik. "Design, Development and Testing of a Semi Cylindrical Capacitive Sensor for Liquid Level Measurement." *Sensors & Transducers Journal* Vol. 116, Issue 5, May 2010: 13-20.
- [12] Xiaohui Hu, and Wuqiang Yang. "Planar Capacitive Sensors – Designs And Applications." *Sensor Review* Vol. 30, Num. 1, 2010: 24-39.
- [13] Lucas, Jerome, Stephane Hole, and Christophe Batis. "Simple And Direct Calculation Of Capacitive Sensor Sensitivity Map." *COMPEL: The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering* Vol. 27, No. 1, 2008: 307-318.
- [14] Anaraki , P. Azimi. "Temperature Effect On Capacitance Measurements Of The Different Chemical Liquids Using A Cylindrical Capacitive Sensor." *Sci.Int.(Lahore)* 25(3), 2013: 439-446.

Gambar 1. Perbandingan kepiawaian model IndOzy dan model LDEO5 dalam memprediksi ENSO.

Selanjutnya untuk tabel, aturannya mengikuti ketentuan sesuai dengan Tabel 1.

Tabel 1. Tabel *Contingency* untuk prediksi ENSO.

ENSO terprediksi	ENSO teramati	
	Ya	Tidak
Ya	a (kena)	b (peringatan palsu)
Tidak	c (luput)	d (penolakan benar)

4. KESIMPULAN

Bagian ini mencakup sejumlah temuan penting Anda dan implikasinya di masa mendatang depan dan manfaatnya bagi disiplin lain. Narasi yang digunakan juga berbentuk sekarang (*present*).

UCAPAN TERIMA KASIH

Bagian ini ditujukan bagi sponsor dan pihak-pihak yang telah membantu terlaksananya kajian ini.

LAMPIRAN (KALAU ADA)

Bagian ini untuk penurunan rumus atau algoritma.

DAFTAR PUSTAKA

1. Strong, D. R., Jr. 1980. Null hypothesis in ecology. *Synthese* 43: 271-285.
2. K. Basar, T. Sakuma and E. Kartini, *Frequency and Temperature Dependent of Conductivity from Superionic Conducting Glass (AgI)_x(AgPO₃)_{1-x}*, Proceedings of the International Conference on Mathematics and Natural Science (2006) 881.
3. Eadie, W. R. 1954. Animal control in field farm and forest. MacMillan Co., New York, New York, USA.
4. Werner, P.A. 1979. Competition and coexistence of similar species. Pages 287-310 in O.T. Solbrig, S. Jain, G. B. Johnson and P. Raven, editors. Topics in plant population biology. Columbia University Press, New York, New York, USA.
5. Davids, D. L. 1998. Recovery Effects in Binary Aluminum Alloys. Ph.D. Thesis, Harvard University, USA.
6. Hegner, M.B and K.L. Wendt. 1977. *Method of Sorting Seeds*, UK Patent 1470133.
7. Heinselman, M. L. 1981. Fire intensity and frequency as factors in the distribution and structure of northern ecosystems. Pages 7-57 in H. Mooney, I. M. Bonnicksen, N. L. Christensen, J. E. Loten, and W. A. Reiners, editors. Fire regimes and ecosystem properties. USDA Forest Service General Technical Report WO-2.