

RANCANG BANGUN SENSOR KAPASITIF UNTUK LEVEL AIR

Eli Zahrotin dan Endarko*

Jurusan Fisika, FMIPA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

**Korespondensi penulis, E-mail : endarko@physics.its.ac.id*

Abstract

Capacitive sensor for measuring water level has successfully been fabricated and characterized. Capacitive water level sensor has been fabricated using coaxial cylinder with an inner and outer radius at 0,955 and 1,435 cm, respectively. The cylinders have a length of 82 cm. The study was used water and air as dielectrics for filling in the space of two cylinders. The design of sensor based on the principle of cylindrical capacitor with two dielectrics. Measurements of water level repeated three times to ensure an accuracy of data. The ruler was used as calibrator for measurement of water level. The result showed that the capacitive water level sensor can be used to measure water level with the maximum of standar deviation around 1,40, when the system was used to measure increased water level at 50 cm and standar deviation minimum at 0,01 occured when it was used to measure decreased water level at 0 cm. Range of measurement was 0,16 -78,99 cm with an average error value when measurements of increased and decreased water level was 2.30 and 1.75%, respectively.

Keywords: *water level, capacitive, coaxial cylinder.*

Abstrak

Sensor kapasitif untuk mengukur ketinggian air telah berhasil difabrikasi. Sensor level air berbasis prinsip kapasitif dengan menggunakan silinder koaksial yang terdiri atas dua buah silinder dengan jari-jari dalam dan luar berturut-turut sebesar 0,995 dan 1,435 cm, serta mempunyai tinggi 82 cm. Penelitian dilakukan dengan menggunakan air dan udara sebagai pengisi ruang diantara kedua silinder, dimana sistem ini akan mempunyai sifat yang sama dengan kapasitor. Sehingga akan mempunyai nilai kapasitif tertentu tergantung dari level (ketinggian) air. Penelitian ini dilakukan dengan tiga kali pengulangan pengambilan data. Dalam penelitian ini, penggaris merupakan kalibrator dari sensor yang telah dirancang. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, alat yang dirancang mampu mengukur level air dengan baik, dengan standar deviasi maksimum sebesar 1,40 pada saat digunakan mengukur level naik pada posisi 50 cm dan standar deviasi minimum sebesar 0,01 terjadi pada saat mengukur level menurun di posisi 0 cm. Daerah pengukuran yang dihasilkan adalah 0,16 – 79,88 cm, dengan nilai error rata-rata saat kenaikan dan penurunan level berturut-turut adalah sebesar 2,30 dan 1,75%.

Kata kunci: *level air, kapasitif, silinder koaksial*

Pendahuluan

Pada tempat-tempat penampungan air seringkali diperlukan suatu mekanisme untuk mengetahui ketinggian air, namun cara yang dilakukan masih berupa cara-cara manual. Sehingga diperlukan mekanisme pengukuran ketinggian air secara otomatis. Metode tersebut lebih efisien dibandingkan harus dilakukan dengan cara manual.

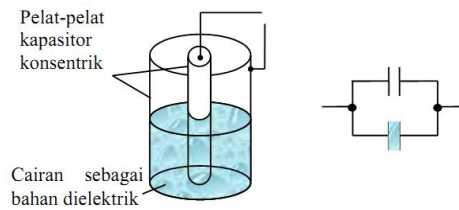
Pengukuran merupakan cara atau prosedur untuk memperoleh data secara kuantitatif baik data yang berupa angka atau uraian yang akurat, dapat dipercaya dan relevan terhadap atribut yang diukur dengan alat ukur standard dan prosedur pengukuran yang benar [1]. Dalam pengukuran ketinggian level, pengetahuan tentang alat ukur level dan cara tata cara pengukuran yang benar harus diketahui terlebih dahulu [2].

Beberapa istilah dalam pengukuran adalah ketelitian [3], ketepatan [3], error [4], jangkauan pengukuran [4], dan linieritas [5]. Berdasarkan uraian di atas maka akan dirancang sebuah sensor pengukur level air berdasarkan prinsip kapasitif yang akan memudahkan dalam proses monitoring level. Dalam pengukuran jika jarak kedua pelat dan luas permukaan dijaga konstan dan volume dielektrikum yang berubah, maka perubahan kapasitansi ditentukan oleh volume atau ketinggian cairan elektrolit yang diberikan [6]. Dielektrik adalah suatu bahan yang memiliki daya hantar arus yang sangat kecil atau bahkan hampir tidak ada [7], berikut adalah beberapa konstanta dielektrik yang dirangkum pada Tabel 1.

Tabel 1. Konstanta dielektrik untuk beberapa material [8]

Material	Konstanta Dielektrik
Vakum	1
Udara	1,00054
Polyvinyl Klorida (PVC)	3,45
Air	80,1

Salah satu bentuk sensor kapasitif untuk mengukur ketinggian air ini terdiri dari dua buah silinder yang berfungsi sebagai pelat kapasitor dengan cairan diantara kedua buah silinder sebagai bahan dielektrik kapasitor. Sebuah kapasitor dengan satu kapasitor dielektrikum air dan satunya udara, ketika volume air bertambah maka udara berkurang karena kapasitansi udara di anggap kecil maka perubahan kapasitansi udara sangat kecil. Ketika volume air berubah maka luas kapasitor air akan berubah sehingga mempengaruhi kapasitansi total, dimana kapasitansi total ini sebanding dengan nilai h (ketinggian air) [4].



Gambar 1. Alat ukur ketinggian kapasitif [4]

Kapasitor yang berbentuk silinder terdiri dari dua elektroda, dimana dielektrik nya terangkai secara paralel, sehingga di dapatkan persamaan sebagai berikut [9]:

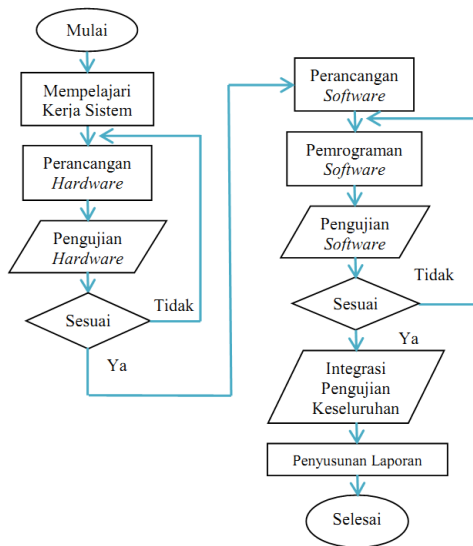
$$C = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln\frac{R_2}{R_1}} \times [h \times (k_{air} -$$

$$k_{udara}) + b \times k_{udara}] \quad (1)$$

Dengan ϵ_0 adalah permitivitas vakum, k_{air} adalah konstanta dielektrikum dari air dan k_{udara} adalah konstanta dielektrikum udara, Atas dasar uraian tersebut dalam penelitian ini akan dilakukan fabrikasi dan karakterisasi sensor kapasitif untuk level air dengan menggunakan kapasitor berbentuk silinder yang disertai dengan mikrokontroler Atmega8 dimana hasil pengukuran akan ditampilkan pada LCD. Perancangan sensor level ini juga dilengkapi dengan software guna lebih memudahkan dalam proses monitoring level air.

Metode

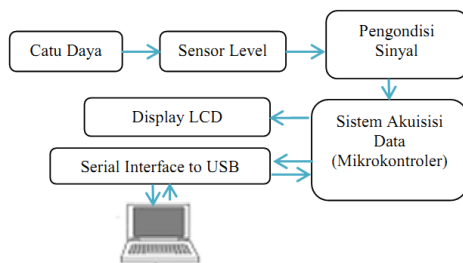
Pada tahap ini dibahas tentang desain sensor, desain perangkat keras, serta desain perangkat lunak. Perancangan seluruh sistem dimulai dari desain sensor kapasitif, kemudian dilanjutkan dengan desain perangkat keras dan desain perangkat lunak untuk memonitoring dan perekam data hasil pengukuran. Secara garis besar langkah-langkah dalam perencanaan alat ditunjukkan oleh diagram blok pada Gambar 2.



Gambar 2. Blok diagram perencanaan pembuatan *hardware* dan *software*

Perancangan Perangkat Keras

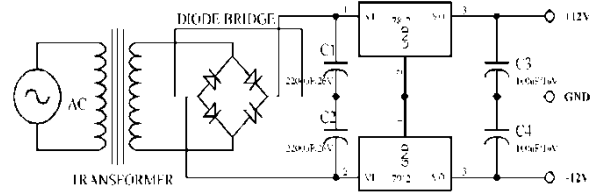
Pembuatan perangkat keras elektronik dibuat berdasarkan blok yang telah di rancang terlebih dahulu seperti terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Blok diagram perencanaan *hardware*

Perancangan Catu Daya

Pada penelitian ini dirancang suplai daya sebesar +12V. Gambar 4 merupakan rangkaian catu daya yang telah dihasilkan pada penelitian ini. Masukan rangkaian menggunakan tegangan 220 V, serta digunakan IC regulator LM 7912 dan 7812 untuk menghasilkan keluaran sebesar -12V dan +12 V.



Gambar 4. Rangkaian Catu daya.

Perancangan Sensor Level Air

Pada penelitian ini, sensor ketinggian (level) menggunakan prinsip kapasitif dirancang dengan bentuk kapasitor silinder (Gambar 5), adapun dimensi sensor yang dirancang adalah dengan pipa PVC bagian dalam berdiameter 1,91 cm dan pipa PVC bagian luar berdiameter 2,87 cm dengan tinggi 82 cm. Masing-masing pipa untuk bagian dalam dan bagian luar dilapisi dengan aluminium foil yang kemudian diisolasi.



Gambar 5. Hasil Rancangan Kapasitif Sensor

Pada prinsipnya sensor level yang berbasis prinsip kapasitif ini bekerja berdasarkan adanya dielektrikum. Pada penelitian ini juga digunakan akrilik berukuran 20×20×100 cm³ yang digunakan sebagai tempat penampung air yang akan di ukur levelnya. Posisi plat ini kemudian diletakkan di pinggir wadah akrilik yang pada bagian atas diberi kabel yang nantinya terhubung ke alat pengukuran level. Sehingga pada saat silinder diberi sumber tegangan listrik maka akan timbul beda potensial diantara bagian-bagian silinder tersebut.

Perancangan Pengondisi Sinyal

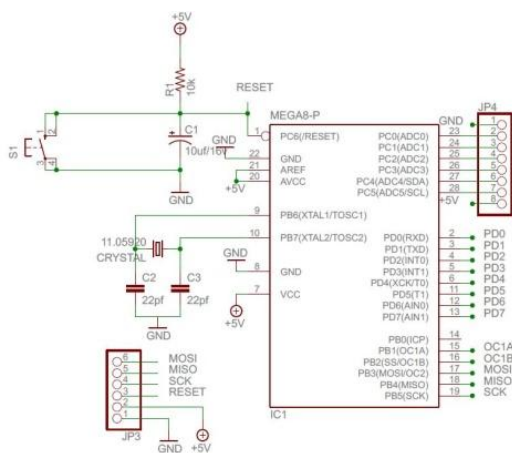
Perancangan pengondisi sinyal pada penelitian ini menggunakan RC Osilator dimana RC Osilator yang

digunakan adalah NE 555 sebagai penghasil gelombang kotak. Agar NE 555 dapat menghasilkan gelombang kotak, maka diperlukan komponen pendukung yaitu terdiri dari R_1 , R_2 dan C , dengan harga tiap – tiap komponen yang digunakan adalah R_1 sebesar $1\text{ K}\Omega$, R_2 sebesar $500\text{ K}\Omega$ dan C sebesar 10 nF . Output yang dihasilkan dari NE 555 ini berupa frekuensi. Pada RC osilator ini juga dilengkapi dengan schmitt trigger type 74HC14. Fungsi schmitt trigger disini adalah untuk mempercepat transisi tegangan keluaran dan memberi efek hysteresis pada tegangan masukan. Frekuensi ini nantinya akan dilakukan akuisisi data oleh mikrokontroler sehingga diperoleh nilai kapasitansi. Nilai kapasitansi ini di dasarkan pada rumus yang terdapat pada Datasheet NE555 [10].

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1,49}{(R_1 + 2R_2)C} \quad (2)$$

Minimum Sistem ATmega8

Untuk mengontrol semua peralatan input/output dari sistem rancangan alat ini diperlukan sebuah mikrokontroler yang telah memiliki memori internal. Dalam penelitian ini digunakan mikrokontroler Atmega 8 yang juga merupakan pengolah data dari penelitian ini (Gambar 6).

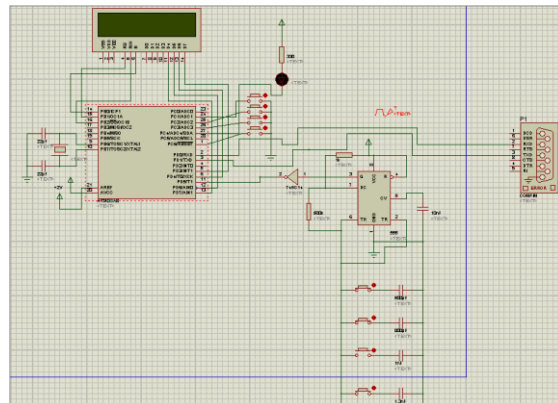


Gambar 6. Rangkaian minimum sistem Atmega8 [11].

Rangkaian LCD

Gambar 3.7 adalah rangkaian skematik konektor yang dihubungkan dari LCD ke mikrokontroler. Rangkaian LCD terdiri dari Gnd, Vcc, Contract, Reset, RW (Read/write), Enable, DB4-DB7 dan dihubungkan langsung dengan konektor yang kompatibel dengan mikrokontroler.

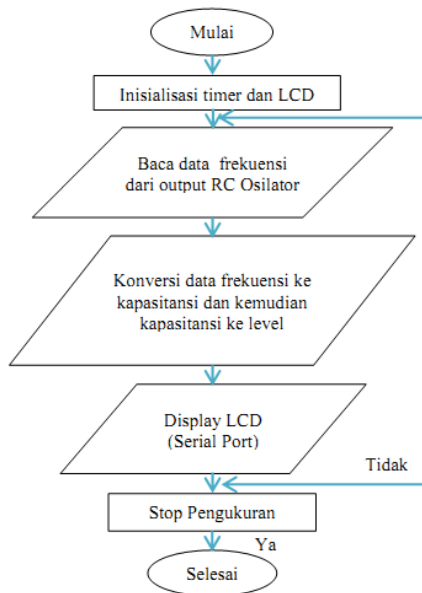
Skema rangkaian perancangan hardware secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Simulasi Skema Rangkaian Diagram Perancangan Hardware.

Perancangan Perangkat Lunak

Program yang digunakan untuk membaca sensor level air dibuat dengan bahasa pemrograman C pada software codevision AVR. Yang nantinya akan di program pada mikrokontroler. Selanjutnya dari program yang dijalankan oleh mikrokontroler akan ditampilkan pada LCD.



Gambar 8. Flowchart program mikrokontroler.

Hasil dan Pembahasan

Setelah tahap perancangan selesai maka pada tahap ini semua bagian perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*) akan di uji.

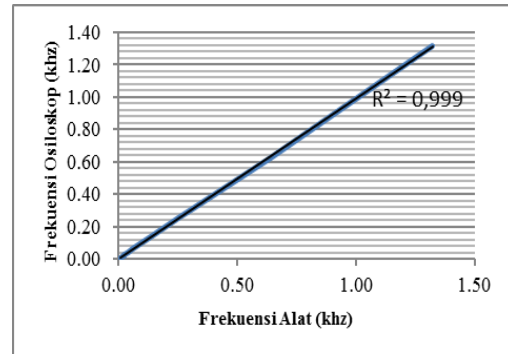
Pengujian Perangkat Keras

Setelah dilakukan perancangan perangkat keras, maka akan dilakukan proses pengujian dari sensor *capacitive level meter* yang telah dirancang.

Pengujian Pengondisi Sinyal

Pengujian Pengondisi sinyal, yaitu yang merupakan RC osilator, dilakukan dengan cara mengkalibrasi frekuensi yang merupakan output dari RC Osilator. Pengujian dilakukan dengan cara membandingkan data hasil pengukuran menggunakan alat *capacitive level meter* yang telah di buat dengan hasil data yang diperoleh dari osiloskop digital sebagai kalibrator. Pengujian frekuensi ini dilakukan dengan menggunakan 12 buah kapasitor mylar (1; 2,2; 4,7; 5,6; 10; 22; 33; 56; 68; 82; 100; 220) dalam ukuran nano farad. Berikut adalah hasil kalibrasi frekuensi yang disajikan dalam

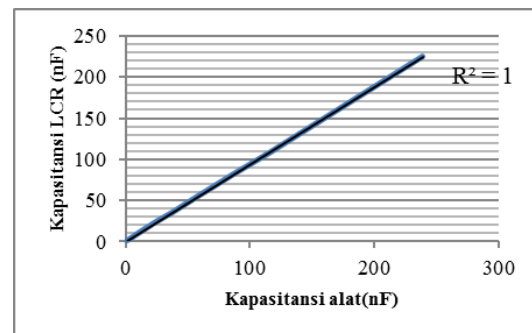
bentuk grafik seperti terlihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Grafik hasil pengujian kalibrasi alat ukur *capacitive level meter* berdasarkan hubungan antara Frekuensi Alat dan Frekuensi Osiloskop

Pengujian Sistem Akuisisi Data (Mikrokontroler)

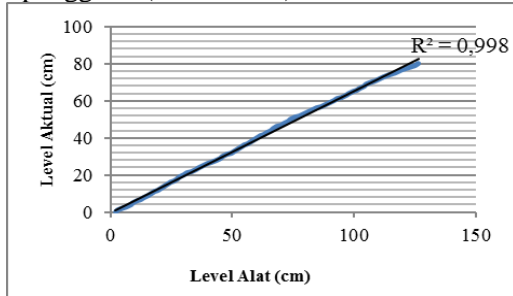
Pengujian ini dilakukan dengan cara membandingkan data hasil pengukuran menggunakan alat *capacitive level meter* yang telah di buat dengan hasil data yang diperoleh dari LCR meter sebagai kalibrator (Gambar 10).



Gambar 10. Grafik hasil pengujian kalibrasi alat ukur *capacitive level meter* berdasarkan hubungan antara Kapasitansi Alat dan Kapasitansi LCR meter.

Selanjutnya dilakukan kalibrasi sensor level yang dilakukan pada sensor level air yang telah dirancang dalam bentuk kapasitor silinder koaksial.

Kemudian dilihat hasil level yang terbaca oleh alat *capacitive level meter* yang telah dirancang yang nilainya ditampilkan oleh LCD dan dibandingkan dengan kalibrator yang digunakan yaitu penggaris (Gambar 11).



Gambar 11. Grafik hasil pengujian kalibrasi alat ukur sensor level berdasarkan hubungan antara Level alat (*capacitive level meter*) dan Level Aktual (Penggaris)

Karakterisasi Sensor Level

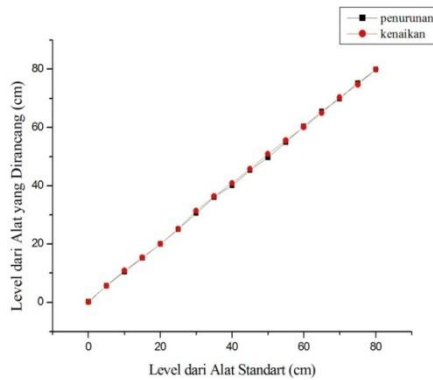
Setelah dilakukan pengujian maka selanjutnya akan dilakukan karakterisasi dari sensor level yang telah dibuat. Cara pengambilan data adalah sama dengan cara pengambilan data level saat dilakukan kalibrasi pada sistem akuisisi data (Mikrokontroler), yaitu dengan cara membandingkan hasil pembacaan pada penggaris dengan level yang terbaca di LCD pada alat ukur *capacitive level meter*. Prinsip kerja dari sensor kapasitif untuk level air ini adalah berdasarkan dielektrikum yang digunakan, dalam penelitian ini dielektrikum yang digunakan adalah air dan udara.

Data pengukuran level yang terbaca pada Tabel 2 merupakan pembacaan level sebenarnya yang diperoleh dari hasil pembacaan level secara teori dikali dengan faktor kalibrasi dari sensor tersebut. Data pengukuran ini dilakukan pengulangan sebanyak tiga kali untuk melihat kepresisian dari alat yang telah dibuat.

Tabel 2. Data hasil pengujian alat yang dibuat terhadap alat acuan (Penggaris)

No.	Level (cm)		
	Alat Standart	Alat <i>capacitive level meter</i> yang dirancang	
		Kenaikan	Penurunan
1	0	0,16 ± 0,01	0,17 ± 0,01
2	5	5,65 ± 0,41	5,64 ± 0,36
3	10	10,89 ± 0,73	10,47 ± 0,55
4	15	15,33 ± 0,02	15,22 ± 0,28
5	20	20,05 ± 0,05	20,04 ± 0,44
6	25	25,22 ± 0,07	25,07 ± 0,48
7	30	31,39 ± 1,00	30,56 ± 0,55
8	35	36,39 ± 1,08	36,08 ± 1,28
9	40	40,91 ± 0,66	40,15 ± 0,16
10	45	45,77 ± 0,85	45,35 ± 0,45
11	50	50,90 ± 1,40	49,74 ± 0,79
12	55	55,58 ± 1,01	55,02 ± 0,19
13	60	60,15 ± 1,11	60,40 ± 0,76
14	65	65,06 ± 1,08	65,54 ± 1,02
15	70	70,39 ± 1,21	69,94 ± 0,66
16	75	74,68 ± 1,37	75,19 ± 0,54
17	80	79,88 ± 0,78	79,88 ± 0,78

Dari hasil pada Tabel 2 dapat dilihat bahwa nilai standar deviasi maksimum diperoleh pada saat pengukuran 50 cm yaitu 1,40 pada pengukuran kenaikan level dan untuk standar deviasi minimum sebesar 0,01 yang diperoleh pada saat pengukuran level standar 0 cm. Dari hasil pengukuran diperoleh keseksamaan rata-rata sebesar 98,50% pada saat kenaikan level dan pada saat penurunan level diperoleh keseksamaan rata-rata sebesar 98,81%. Dari data tersebut diketahui bahwa pembacaan level pada alat yang dibuat dengan pembacaan pada kalibrator menunjukkan hasil yang tidak jauh berbeda. Sehingga dapat dikatakan bahwa alat yang dibuat cukup akurat untuk digunakan dalam pengukuran level.



Gambar 12. Grafik Pengujian Alat Standar dan Alat yang Dirancang.

Dari Gambar 12 dapat dilihat bahwa didapatkan grafik yang linier antara level dari alat standar dengan level dari alat yang dirancang dengan nilai regresi $y = 0,995x + 0,440$. Error rata-rata yang dihasilkan dari perbandingan data level pada Tabel 2. sebesar 2,30% pada kenaikan level dan 1,75% pada saat penurunan level.

Tabel 3 menunjukkan bahwa standar deviasi maksimum diperoleh pada saat penurunan dengan kapasitansi sebesar 2,73 nF yaitu dengan standar deviasi 0,08. Pada pengukuran kapasitansi ini diperoleh rata-rata keseksamaan sebesar 99,74% saat kenaikan level dan rata-rata keseksamaan sebesar 99,71% saat penurunan level. Dengan rata-rata error sebesar 25,09% saat kenaikan level dan rata-rata error sebesar 25,69% saat penurunan level.

Perbedaan nilai yang disebabkan oleh pengukuran kapasitansi dengan menggunakan LCR meter dengan perhitungan bisa disebabkan oleh beberapa faktor, diantaranya adalah adanya kabel penghubung yang menghubungkan antara sensor dengan alat ukur, dikarenakan pada saat dilakukan pengujian pada kapasitor mylar, nilai yang terbaca ketika kapasitor mylar dihubungkan langsung dengan LCR meter menunjukkan nilai

yang berbeda ketika ada kabel penghubung diantara kapasitor mylar dengan LCR meter, faktor lain yaitu konstanta-konstanta yang dipakai dalam perhitungan juga mempengaruhi besarnya kapasitansi itu sendiri, misal permitifitas relatif air yang dipakai dalam perhitungan adalah 80,1 sedangkan secara teori besar permitifitas air 80,1 dipakai pada saat temperatur 20⁰C. Sehingga dapat dikatakan bahwa perubahan temperatur juga dapat menyebabkan adanya error, karena perubahan temperatur ini mengakibatkan terjadinya perubahan kapasitansi.

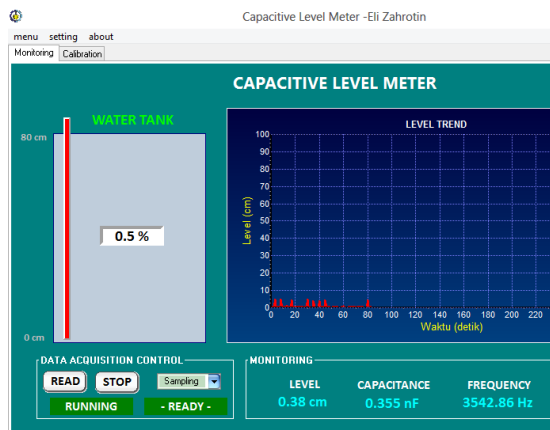
Tabel 3. Data hasil perhitungan kapasitansi terhadap kapasitansi pengukuran

Level (cm)	Kapasitansi (nF)		
	Kapasitansi Perhitungan (nF)	Kapasitansi Pengukuran	
		Naik	Turun
0	0,11	0,37 ± 0,00	0,37 ± 0,00
5	0,92	1,18 ± 0,04	1,20 ± 0,01
10	1,46	1,94 ± 0,01	1,98 ± 0,02
15	2,00	2,63 ± 0,02	2,73 ± 0,08
20	2,54	3,36 ± 0,04	3,44 ± 0,03
25	3,08	4,23 ± 0,02	4,28 ± 0,02
30	3,62	5,00 ± 0,01	5,17 ± 0,05
35	4,16	5,64 ± 0,01	5,89 ± 0,03
40	4,70	6,00 ± 0,02	6,38 ± 0,01
45	5,24	6,78 ± 0,01	6,81 ± 0,01
50	5,78	7,14 ± 0,01	7,17 ± 0,00
55	6,32	7,47 ± 0,01	7,49 ± 0,01
60	6,86	7,68 ± 0,00	7,69 ± 0,01
65	7,40	7,80 ± 0,00	7,80 ± 0,00
70	7,94	7,88 ± 0,00	7,88 ± 0,01
75	8,48	7,95 ± 0,02	7,95 ± 0,01
80	9,02	8,01 ± 0,01	8,01 ± 0,01

Dari hasil pengukuran diketahui rentang daerah yang dihasilkan pada pengukuran level nilainya mulai 0,16 – 79,88 cm. Dari hubungan level dengan kapasitansi diketahui bahwa nilai kapasitansi semakin besar jika levelnya juga semakin tinggi. Nilai kapasitansi yang diperoleh pada saat level 0,16 cm adalah 0,37 nF, sedangkan pada level tertinggi yaitu 79,88 cm menunjukkan nilai kapasitansi 8,01 nF.

Pengujian Perangkat Lunak

Pada penelitian ini juga dibuat software monitoring level air berbasis Delphi 7. Hal ini dilakukan dengan tujuan untuk mempermudah dalam proses monitoring level air. Sistem monitoring ini menggunakan mikrokontroller Atmega8 sebagai sistem akuisisi data dan Delphi 7 sebagai Human Machine Interface (HMI). Mikrokontroller AVR Atmega8 memiliki Port USART pada pin 2 dan pin 3 untuk melakukan komunikasi data antara mikrokontroller dengan laptop. Komunikasi serial ini menggunakan Port USB (Printer). Sistem akuisisi data ini menggunakan komunikasi serial dengan komputer.



Gambar 13. Tampilan Software monitoring Level Air

Untuk lebih memudahkan monitoring level air yang sedang berproses maka dibuatkan tab monitoring dengan penyimpanan otomatis pada sheet microsoft excel 2010. Data yang ter-record pada jendela microsoft excel adalah tiap detik. Berikut tampilan data yang ditampilkan dalam microsoft excel 2010.

DATA MONITORING LEVEL AIR

Waktu (detik)	Level (cm)
0	0,13
1	0,05
2	0,13
3	0,42
4	0,06
5	0,52
6	0,03
7	0,16
8	0,07
9	0,15
10	0,06
11	0,57
12	0,04
13	0,11

Gambar 14. Hasil Monitoring yang ditampilkan di excel secara otomatis

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Sistem sensor level air menggunakan dua buah silinder dengan jari-jari dalam dan luar berturut-turut sebesar 0,995 dan 1,435 cm, serta mempunyai tinggi 82 cm dapat diaplikasikan untuk mengukur level air.
2. Sensor level air yang dirancang mampu digunakan dengan baik untuk mengukur level dengan standar deviasi maksimum 1,40 pada saat pengukuran kenaikan 50 cm dan standar deviasi minimum 0,01 saat penurunan 0 cm. Daerah pengukuran yang dihasilkan 0,16 – 79,88 cm, serta mempunyai keseksamaan rata-rata sebesar 98,50% saat kenaikan level dan 98,81% saat penurunan level dengan nilai error rata-rata sebesar 2,30% saat kenaikan level dan 1,75% saat penurunan level.

Daftar Pustaka

- [1] Umar, 2009. Sistem Pengukuran. Lampung : FMIPA UNILA.
- [2] [2] Ginting, Suriadi. 2009. Sensor Pyrometer sebagai alat ukur Temperatur. Yogyakarta : Univ. Andalas.
- [3] Waluyanti,Sri dkk. 2008. *Alat Ukur dan Teknik Pengukuran*. Penerbit direktorat pembinaan sekolah menengah kejuruan.
- [4] Bolton, W. 2002. *Sistem Instrumentasi dan Sistem Kontrol*. Jakarta : Erlangga.
- [5] Siwindarto, Panca. 2000. *Sistem Instrumentasi dan Elektronika*. Malang : Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- [6] Suraatmaja, S. 2012,. *Sensor Kapasitif*. In : Suraatmaja.
- [7] Mujib, Saifudin. 2013. *Perancangan Sensor Kelembaban Beras Berbasis Kapasitor*. Surabaya : ITS
- [8] Beur and Westfall, 1959. *University Physics with Modern Physics*. New York : Michigan State University.
- [9] Quintans, C dkk. 2010. *Developing of Low Cost Capacitive Sensors for Laboratory Classes*. Spain : Department of Electronic Technology, University of Vigo
- [10] Data Sheet Book, 1994. NE555
- [11] Data Sheet Book, 2013. Atmega8

