

## 37 | **Development of Low-Cost Capacitance-Type Sensor for Liquid Level Measurement**

*Lazuardi Umar*

Physics Dept. FMIPA University of Riau, Kampus Bina Widya Simpang Baru Pekanbaru  
28293

Email: lazuardiumar@yahoo.com

### **Abstract**

In this paper, an attempt has been made to design a low-cost noncontact capacitance-type level sensor for a conducting liquid. The sensor is in the form of a uniform circular stainless steel cylinder of type IC-00179H-2005/I and BS4127-ALSI304, with diameter of 15-25mm and 700mm length. The inner electrode is made of insulating material of PTFE-insulated wire with diameter 0.52 - 3.0 mm. The minimum of measured capacitance is 52.81 pF with sensitivity of 0.283 pF/mm by the maximum water level of 550mm.

Keyword: sensor level sensor, capacitive sensor, inner electrode, PTFE-insulated

### **Pendahuluan**

Sistem peringatan dini pendeteksi ketinggian permukaan air sungai berfungsi untuk memberikan informasi secara dini dalam mengantisipasi terjadinya banjir sehingga kerugian akibat banjir dapat diperkecil. Propinsi Riau dikelilingi oleh 4 sungai besar Siak, Kampar, Rokan dan Inderagiri serta sungai-sungai kecil lainnya. Beberapa sungai yang ada potensial sebagai ancaman bahaya banjir diantaranya sungai Siak dengan kedalaman rata-rata antara 17-35 m dihitung dari batas air surut, yang membelah kota Pekanbaru menjadi bagian utara dan selatan [Syech, 1998]. Penyebabnya disebabkan oleh hujan yang terus menerus di daerah hulu sungai sementara hutan yang ada sebagai penahan air sudah semakin berkurang sehingga debit air yang mengalir melalui sungai menjadi berlimpah.

Untuk mencegah tingginya tingkat kerugian yang disebabkan banjir maka penempatan sensor-sensor yang online sepanjang DAS yang dapat mengirimkan data permukaan air di hulu atau tanda-tanda bahaya merupakan tindakan preventif yang tepat, sehingga dapat diantisipasi langkah-langkah apa yang harus dilakukan apabila terjadi hal-hal yang berkaitan dengan pengendalian banjir seperti naiknya permukaan air sungai [DPU, 1992]. Sistem peringatan dini pendeteksi ketinggian permukaan air sungai berfungsi untuk memberikan informasi secara dini dalam mengantisipasi terjadinya banjir sehingga kerugian akibat banjir dapat diperkecil.

### **Sensor Kapasitif Pengukur Ketinggian Permukaan Air**

#### **Metode Kapasitif**

Prinsip pengukuran metode kapasitif yang dipergunakan berhubungan dengan perubahan ketinggian cairan yang mengakibatkan perubahan kapasitansi  $\Delta C$  suatu

sensor kapasitor yang dipergunakan sebagai sistem pengukuran. Perubahan kapasitansi dari sensor merupakan fungsi ketinggian permukaan cairan dan dielektriknya. Secara dasar, dielektrik terdiri dari medium yang diukur dengan permitivitas relatif  $\epsilon_r$  yang ditentukan oleh ratio permitivitasnya terhadap permitivitas vacum,  $\epsilon_0 = 8.8542 \cdot 10^{-12}$  F/m. Susunan kapasitor yang dipergunakan untuk pengukuran ketinggian biasanya terdiri dari elektroda kapasitif (probe) dan elektroda counter (dinding silinder pengukur).

Persamaan umum untuk kapasitansi kapasitor berbentuk silinder adalah sebagai berikut [VDI, 2003]:

$$C = \frac{2\pi \epsilon_0 \epsilon_r L}{\ln(D/d)} \quad (1)$$

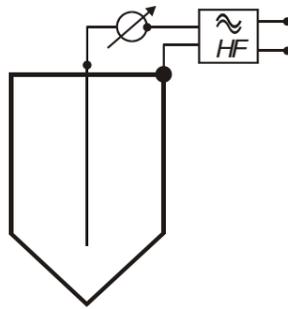
dimana  $L$  adalah panjang silinder,  $D/d$  adalah perbandingan diameter silinder terluar dan silinder dalam. Total kapasitansi,  $C$ , yang berhubungan dengan ketinggian  $h_x$  dihitung sebagai jumlah dari dua kapasitansi parsial  $C_1$  dan  $C_2$  dari volume kapasitor terisi medium atau kosong berturut-turut, yang dihubungkan secara paralel adalah sebagai berikut:

$$C = \frac{2\pi \epsilon_0 L}{\ln(D/d)} + \frac{2\pi \epsilon_0 (\epsilon_r - 1)}{\ln(D/d)} \cdot h_x \quad (2)$$

Pada persamaan (2), kapasitansi yang diukur,  $C$ , adalah suatu kombinasi dari kapasitansi  $C_0$  dari kapasitor kosong dan perubahan dalam kapasitansi  $\Delta C$  yang dihasilkan dari ketinggian medium yang diukur, yang diukur melalui elektroda kapasitif.

### Pengolah Isyarat Sensor Kapasitif

Berbagai tipe rangkaian dapat dipergunakan untuk mendeteksi perubahan kapasitansi sensor pengukur  $C_0 \pm C$  menjadi arus, tegangan atau sinyal frekuensi. Sebagai contoh adalah rangkaian pengukur reaktansi kapasitif yang memerlukan suplai arus bolak-balik pengeksitasi dengan frekuensi tinggi untuk mengeliminasi efek tahanan kapasitor yang tidak diinginkan yang terdapat pada kondensator [Koplan, 1978]. Gambar 1 memperlihatkan rangkaian dasar untuk mengukur perubahan kapasitansi dari sensor.



Gambar 1. Rangkaian dasar untuk mengukur kapasitansi pendeteksi ketinggian cairan.

Frekuensi pengukuran biasanya terletak antara 20Khz dan 6Mhz. Frekuensi tinggi lebih diutamakan untuk memperoleh reaktansi kapasitif yang kecil. Pada sisi lain, frekuensi yang dipergunakan harus dipilih sedemikian hingga untuk memperoleh panjang gelombang yang dihasilkan,  $\lambda$ , cukup besar jika dibandingkan dengan panjang elektroda (probe) ( $\lambda \approx 40 L_s$ ) [Tränkler, 1998]. Ukuran geometri dari elektroda pengukur (probe sensor) untuk mendeteksi ketinggian permukaan air sungai ditentukan oleh faktor kedalaman, tinggi rendahnya kenaikan air sungai dihitung dari permukaan air surut. Faktor-faktor diatas menjadi variabel dalam mendesain sensor dalam penelitian ini.

Pengolahan dengan komputer dapat dilakukan dengan mengubah sinyal sensor dari domain analog ke domain digital. Struktur ini terdiri atas multiplekser analog yang dihubungkan dengan Analog to Digital Converter (ADC) [Heerens, 1986]. Untuk mengirim data dipergunakan sistem telemetri data dengan frekuensi radio pada frekuensi 443MHz dan data dapat diakses ke PC melalui saluran antar muka seri RS232.

## Hasil dan Pembahasan

### Desain dan Pembuatan Sensor Kapasitif

Hasil penelusuran diperoleh data bahwa konduktifitas (DHL) dari sungai sangat variatif dari 18 – 80  $\mu\text{S}/\text{cm}$  yang disebabkan oleh berbagai faktor antara lain curah hujan, batuan dan material/bahan kimia terlarut sepanjang DAS, serta faktor lainnya. Berdasarkan hal tersebut diatas maka sonde ukur dari silinder terdalam dari sensor harus diberi selubung isolasi. Untuk itu pada penelitian ini telah dipergunakan probe sonde dari bahan kawat tembaga berukuran diameter  $\varnothing = 0.5 - 3 \text{ mm}$  yang diberi isolasi bahan PTFE.

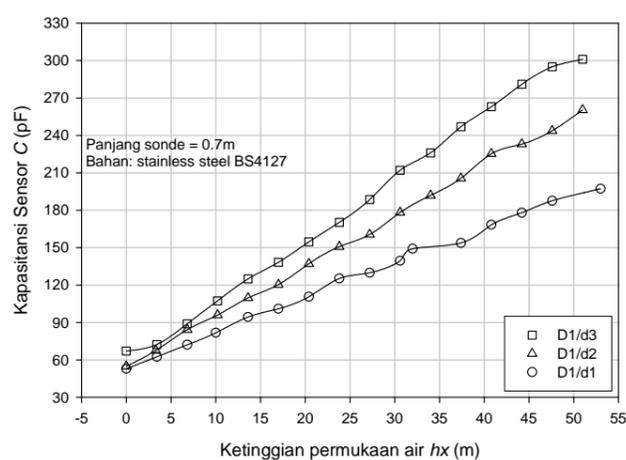
Sonde sensor dibuat dari bahan pipa besi stainless steel tipe BS4127-ALSI304 serta silinder tembaga tipe IC:00179H-2005/I yang mempunyai diameter terluar  $\varnothing=15-25\text{mm}$ . Pada penelitian ini lebih ditekankan penggunaan sonde terluar dari bahan stainless steel dibandingkan tembaga karena sifat-sifatnya yang lebih tahan terhadap korosi dan kuat, sementara logam tembaga mudah mengalami perubahan sifat karena korosi dan teroksidasi oleh udara.

Sementara untuk sonde silinder terdalam terbuat dari bahan kawat tembaga berdiameter  $\varnothing=0.52 - 3.0\text{mm}$  yang dibungkus oleh isolasi PTFE karena sifat listrik (DHL) dari DAS Siak mempunyai angka lebih besar dari  $20\mu\text{S}/\text{cm}$ . Sonde dari kawat berisolasi PTFE ditempatkan di dalam sonde stainless steel dengan pembatas (spacer) dari bahan teflon untuk menghindari kontak antara silinder luar dengan sonde terdalam sehingga harga jarak,  $d$ , akan konstan selama pengukuran. Hasil karakterisasi statis mempergunakan RCL meter diperoleh hubungan antara perubahan ketinggian permukaan air terhadap besarnya kapasitansi terukur seperti terlihat pada gambar 2.

**Tabel 3. Hasil pengukuran sensor kapasitif**

No	Parameter	Sensor #1 (D1/d1)	Sensor #2 (D1/d2)	Sensor #3 (D1/d3)
1.	Panjang sonde, L (m)	0.7	0.7	0.7
2.	Kapasitansi awal (pF)	52.81	54.80	67.10
3.	Kapasitansi maksimum (pF)	197.22	260.41	301
4.	Sensitivitas (pF/mm)	0.283	0.403	0.458

Pada gambar 2 terlihat bahwa terjadi kenaikan yang relatif linier antara besarnya kapasitansi sensor  $C$  (dalam pF) terhadap naiknya permukaan air  $hx$ . Demikian pula sensitivitas akan membesar dengan kenaikan besarnya sonde terdalam dari sensor. Besarnya ketinggian deteksi dibatasi untuk menghindari patahnya sonde dalam pemasangan serta untuk mempermudah desain rangkaian elektronik pengubah besaran kapasitansi menjadi tegangan atau frekuensi.



Gambar 2. Perubahan kapasitansi akibat kenaikan tinggi permukaan air. Diameter sensor terluar dan sonde terdalam divariasikan

### Konverter Kapasitansi-Tegangan

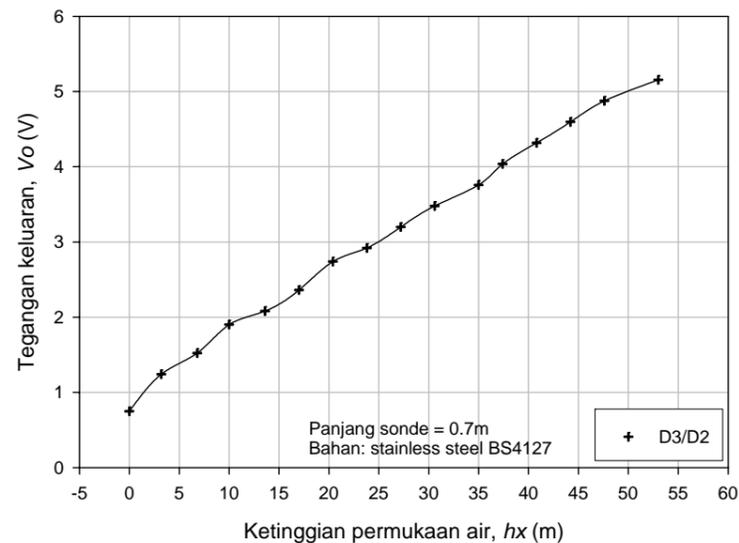
Untuk mengukur perubahan kapasitansi akibat ketinggian permukaan cairan maka sensor dikarakterisasi menggunakan konverter kapasitansi ke tegangan. Gambar 3 berikut memperlihatkan hasil pengukuran menggunakan rangkaian konverter kapasitansi ke tegangan.

Dari gambar 3 terlihat bahwa kenaikan permukaan air sungai dapat terdeteksi dengan baik dan memberikan tegangan keluaran yang proporsional secara linier dengan kenaikan permukaan air yang memasuki sensor. Untuk mempermudah pengolahan

selanjutnya, level tegangan keluaran disesuaikan dengan level tegangan TTL 5V dan dapat diubah disesuaikan dengan kebutuhan.

### Sistem Telemetri Radio

Data ketinggian permukaan sungai yang telah diukur dapat dikirim melalui gelombang radio (wireless) dengan maksud untuk mengatasi keterisoliran daerah-daerah aliran sungai. Untuk itu telah didesain pengiriman data mempergunakan modul radio frekuensi (RF) yang terhubung ke mikrokontroler MSP430. Untuk itu dipergunakan RF Modem Module dengan dengan single board fast controller yang dilengkapi 6 kanal input sebagai pemancar dengan frekuensi 433MHz dan RS232 RF Modem Module-4 yang memungkinkan akuisisi data mempergunakan PC melalui serial bus. Modul RF yang dipergunakan banyak tersedia di pasaran dan dapat diperluas untuk menambahkan multiplekser. Pada penelitian ini dipergunakan modul dengan MSP430 platform of ultra-low-power 16-bit RISC mixed-signal processors dari Texas Instrument yang memberikan kemungkinan akuisisi data sensor ketinggian air mempergunakan daya baterai.



Gambar 3. Hasil pengukuran permukaan air mempergunakan rangkaian pengolah isyarat kapasitansi ke tegangan

Dari hasil penelitian diperoleh suatu rangkaian pengukur yang ditempatkan pada stasiun ukur mempergunakan modul RF modem yang bekerja pada ISM Band dengan frekuensi carrier 433,92MHz berdasarkan modulasi frekuensi digital (GFSK) dan digerakkan dengan catu daya 7-12Volt DC pada beban arus maksimum 100mA. Seperti yang dijelaskan sebelumnya bahwa besaran kapasitif dari sensor yang proporsional dengan ketinggian permukaan air sungai akan diubah menjadi tegangan (capacitance to voltage converter). Data tegangan akan diumpankan input modul RF modem yang berisikan MSP430 mikrokontroler dan dilengkapi dengan ADC 12 bit, sehingga dapat diperluas menjadi pengukuran multi sensor. Disamping itu modul mempunyai daya transmisi sebesar +14dBm sehingga dengan mempergunakan

antenna mini omnidirectional maka system pengukur akan dapat mentransmisikan data dari stasiun ukur sensor (pemancar) ke stasiun control ukur (penerima) dengan posisi antenna berhadapan tanpa halangan (los, face to face) sejauh 1km.

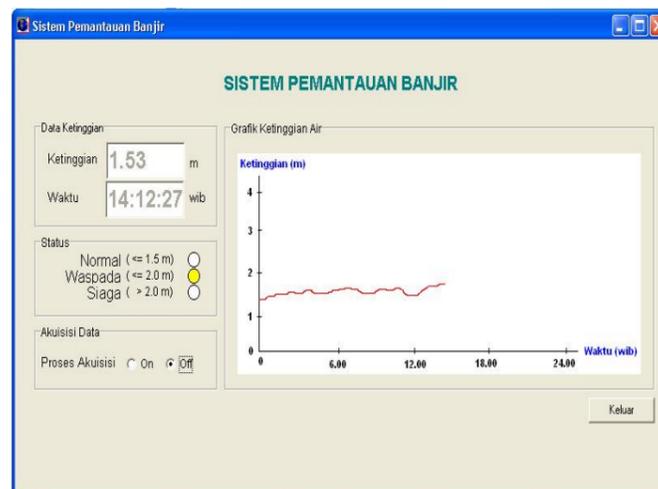
Dengan mempergunakan modul MSP430 ini memungkinkan pengiriman data sampai maksimum transfer data 18200bps. Untuk daerah DAS yang terisolir dan terletak jauh dari pemukiman maka dimungkinkan perluasan daerah pancar pemancar dengan memperkuat daya transmisi serta dengan mempergunakan antenna Yagi.

Sementara pada stasiun penerima, modul RF modem TI dengan kontroler MSP430 dilengkapi dengan fasilitas aplikasi UART yang memungkinkan komunikasi serial dengan PC. Pada stasiun control (penerima), modul terhubung dengan PC mempergunakan antar muka serial RS232 dan dikontrol melalui perangkat lunak pengolah yang tersedia untuk menyimpan hasil pengukuran. Pada perangkat lunak, pengambilan data ketinggian permukaan air dapat diseting antara waktu 15-1800 detik pada program data collector.

Hasil data pengukuran berupa text dan data bertipe sehingga dapat diolah lebih lanjut mempergunakan program Excel. Untuk menampilkan hasil pemantauan ketinggian permukaan sungai pada hulu maka data yang telah diretrieve dari ADC modul MSP430 kemudian diolah mempergunakan program Borland Delphi sehingga dihasilkan tampilan yang memberikan Informasi tentang siaga banjir.

#### **Perangkat Lunak Display Banjir**

Untuk menampilkan data hasil pengukuran ketinggian air kapasitif, yang ditransmisikan melalui gelombang radio mempergunakan Program Borland Delphi. Dengan pemrograman visual dan ditambah dengan OOP (object oriented programming), menjadikan hasil program yang dibuat dengan Delphi mempunyai kehandalan dan kecepatan seperti Pascal dengan tampilan menarik. Pada penelitian ini, data yang dibaca berbentuk text atau data bertipe yang diterima dari rangkaian penerima telemetri dan kemudian ditampilkan seperti pada gambar 4 berikut ini:



Gambar 4. Tampilan menu Sistem Pemantauan Banjir yang memberikan informasi tentang ketinggian permukaan air sungai yang dikirim secara telemetri

Aliran data yang diakuisisi dari ADC berupa data-data angka (digital) diterjemahkan dalam bentuk pasangan data waktu dan ketinggian yang ditampilkan dalam bentuk grafik real time waktu vs ketinggian. Pada bahasa pemrograman Delphi, grafik dibuat pada objek Paint Box dimana pasangan data waktu dan ketinggian ditampilkan pada properties canvas sebagai sebuah point (titik), point yang terus menerus ditampilkan akan membentuk grafik yang real time. Data yang diterima juga ditampilkan pada panel data ketinggian, sehingga dapat dilihat angka ketinggian air secara lebih teliti pada suatu saat.

Data yang diterima dapat disimpan didalam media penyimpan dengan memilih radio button on pada proses akuisisi, sebaliknya jika media penyimpan tidak mencukupi dapat dipilih radio button off.

Pada program sistem pemantauan banjir ini dibuat fasilitas untuk menentukan status keadaan banjir secara otomatis, dimana jika ketinggian air kurang dari 1,5 m maka statusnya adalah normal dan lampu yang dinyalakannya adalah lampu hijau. Ketika ketinggian permukaan air telah lebih dari 1,5 m namun masih kurang dari 2 m maka status secara otomatis ditingkatkan menjadi waspada, dan warna lampu yang dinyalakan adalah warna kuning. Status keadaan menjadi siaga ketika permukaan air lebih dari 2 m, lampu yang dinyalakan adalah lampu merah kemudian program akan menjalankan secara terus menerus file bunyi sirene.

### **Kesimpulan**

Pada penelitian ini telah dilakukan desain dan pembuatan sensor kapasitif untuk menentukan ketinggian permukaan air DAS. Sensor terbuat dari bahan logam stainless steel filtube tipe BS4127-ALSI304 dan tembaga tipe IC:00179H-2005/I berbentuk silinder dengan variasi panjang antara 400-700mm, diameter luar antara 15-25mm terluar dan diameter sonde terdalam 0.52-3mm yang terbuat dari kawat tembaga yang diisolasi oleh bahan PTFE yang bersifat sebagai dielektrik yang konstan.

Dari hasil pengukuran kapasitansi 3 jenis sensor dengan panjang 700mm, diameter sensor 25mm dan variasi sonde 0.52-3mm diperoleh kapasitansi awal sebesar 52.81, 54.80 dan 67.10pF berturut-turut. Sementara sensitivitas terukur adalah 0.283, 0.403, 0.458 pF/mm.

Sementara karakterisasi sensor mempergunakan rangkaian konverter kapasitansi ke tegangan memperlihatkan rentang pengukuran yang linier dari 0 – 530mm dengan tegangan keluaran bervariasi dari 0.75 – 5.15 Volt. Sensitivitas  $S$  sensor yang terukur diperoleh sebesar 9.72 mV/mm ketinggian permukaan air.

Kemudian untuk transmisi data dipergunakan RF modul berbasis mikrokontroler MSP430 yang dapat mengirim data hasil pengukuran maksimum 1km dengan variasi waktu pengambilan data 5-1800s. Dari pengujian dilapangan diperlihatkan bahwa system peringatan dini mempergunakan sensor kapasitif untuk mendeteksi ketinggian permukaan air sungai telah berjalan dengan baik, sekalipun masih memerlukan perbaikan-perbaikan untuk kesempurnaan system deteksi.

## Daftar Pustaka

1. Amri, T.A., Hasil pengukuran parameter Insitu DAS Siak, Laporan Tim Rona Lingkungan Universitas Riau, 2002
2. Departemen Pekerjaan Umum (DPU). 1993. Laporan Peninjauan Lapangan Sebagai Masukan Penanganan Terpadu Masalah Banjir di Kotamadya Pekanbaru. Pekanbaru Riau.
3. Endress: Endress+Hauser Maulburg.1999. Company Presentation.
4. Gutman, K. H. 2002. *Normen und Zulassungsbestimmungen für Füllstandmessgeräte*. VDI-Berichte 1712, Füllstandmesstechnik in der industriellen Praxis, Tagung Frankfurt, 4.-5. Dezember 2002, S. 11-23.
5. Heerens, W. Chr. 1986. Application of capacitance techniques in sensor design. J. Phys. E: Sci. Instrument. 19. 897-906.
6. Hoffman, J. 1999. *Handbuch der Messtechnik*. Hanser Verlag, München.
7. Koplán, B.Z., Sagy, Y. and Jacobson, D. M. 1978. An instrument for continuously measuring capacitance changes. IEEE Trans. Instrument. Meas., 43-45.
8. Lazuardi, U.; Horn, M. 2002. *Robust PTC-Thermistor Sensor for Liquid Overfill Protection*, Proceeding of the International Conference Sensor and Systems, Volume II, St.-Petersburg Russia, 24.-27. June 2002, S. 33-37.
9. Tränkler, H.-R. and Obermeier, E.. 1998. *Sensortechnik, Handbuch für Praxis and Wissenschaft*. Springer Verlag Berlin. 706-728.
10. VDI 3519 Blatt 1-2. 2003. *Füllstandmessung von Flüssigkeiten und Feststoffen (Schüttgütern)*. VDI/VDE Verlag, S. 27-32.