

### BAB III. TINJAUAN PUSTAKA

Aplikasi level sensor sebagai pendeteksi ketinggian permukaan cairan di dalam industri dipergunakan secara luas sebagai alat pengaman dalam memonitor pengisian cairan ke dalam kontainer. Sistem pengaman bekerja dimana sesaat sebelum cairan mencapai ketinggian permukaan yang diizinkan, maka proses pengisian kontainer secara otomatis dihentikan, pompa dimatikan atau alarm akustik dan optis dinyalakan [Gutmann, 2002; Hoffmann, 1999].

Metode ini juga dapat dipergunakan untuk mendeteksi ketinggian permukaan air sungai, yang dikombinasikan dengan sistem telemetri untuk mengirim data dari daerah aliran sungai (DAS) ke stasiun pengamatan di daerah pemukiman. Dewasa ini terdapat banyak metode pengukuran ketinggian (level sensor) seperti dijelaskan dalam [Tränkler, 1998].

**Tabel 1.** Matriks perbandingan beberapa level sensor

Prinsip	Kelebihan	Kelemahan	kontinyu	Non kontinyu
Float switch	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Struktur sederhana, biaya rendah dan tidak bergantung pada suhu dan tekanan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Korosi,</li> <li>• masalah mekanis</li> </ul>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Kapasitif	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Struktur sederhana</li> <li>• cocok untuk berbagai macam cairan</li> <li>• biaya sedang</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dielektristas tergantung jenis cairan,</li> <li>• pengotoran sonde, adhesi, kristalisasi atau muatan elektrostatis</li> </ul>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PTC	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Struktur sederhana, kompak dan sensitif terhadap suhu</li> <li>• biaya rendah</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• dispersi produksi</li> <li>• kestabilan yang rendah,</li> <li>• pengotoran sensor</li> </ul>	<b>X</b>	<input type="checkbox"/>
Ultrasonik	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presisi tinggi</li> <li>• tidak tergantung pada luar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• biaya tinggi</li> <li>• pengotoran sonde</li> </ul>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Keterangan:  cocok    **X** tidak cocok

Salah satu sensor yang ekonomis untuk sistem peringatan dini adalah sensor kapasitif (*capacitive level sensor*) seperti diperlihatkan dalam gambar 1. Sistem deteksi level sensor secara umum dibagi 2 kategori yaitu deteksi cairan di kontainer secara kontinyu dan tidak kontinyu. Level sensor berbasis perubahan kapasitansi mendeteksi perubahan ketinggian permukaan secara kontinyu. Sebagai

perbandingan dari berbagai sistem dengan kelebihan serta kekurangan diperlihatkan dalam tabel 1 [Lazuardi, 2002].

Sekalipun metode kapasitif mempunyai keterbatasan, sensor kapasitif mempunyai kelebihan-kelebihan untuk berbagai aplikasi sebagai contoh, kapasitor tidak mempunyai kontak mekanis langsung, gesekan atau kesalahan histerisis. Kelebihan lain dari sensor kapasitif adalah stabilitas dan reproduksibilitasnya yang tinggi [Endress, 1999]. Hal ini disebabkan, kapasitansi  $C$  tidak bergantung pada konduktivitas listrik dari elemen elektrodanya (pelat). Perubahan suhu tidak mempunyai pengaruh yang signifikan dan tidak terdapat efek penuaan (*ageing*). Disamping itu sensor kapasitif tidak menghasilkan medan listrik atau magnetik yang besar jika dibandingkan sensor induktif.

### III.1. METODE PENGUKURAN KAPASITIF

Prinsip pengukuran metode kapasitif 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, yang dapat dinyatakan sebagai berikut [Herceg, 1976]:

$$\Delta C = f(\varepsilon, h_x)$$

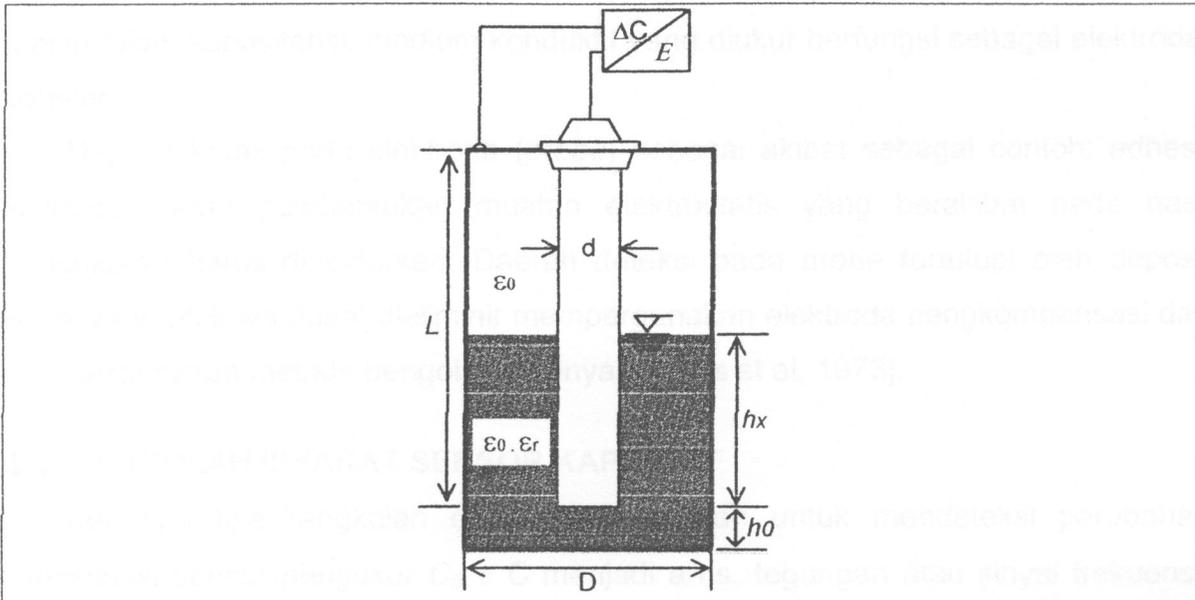
Secara dasar, dielektrik terdiri dari medium yang diukur dengan permitivitas relatif  $\varepsilon_r$  yang ditentukan oleh ratio permitivitasnya terhadap permitivitas vacuum,  $\varepsilon_0 = 8.8542 \cdot 10^{-12}$  F/m. Untuk penggunaan praktis, di udara dipergunakan nilai  $\varepsilon_r = \varepsilon/\varepsilon_0 = 1$ . Susunan kapasitor yang dipergunakan untuk pengukuran ketinggian biasanya terdiri dari elektroda kapasitif (probe) dan elektroda counter (dinding silinder pengukur). Sementara faktor permitivitas relatif tergantung pada kelembaban, konsentrasi larutan, komposisi kimia dan fisika dari medium yang diukur serta suhu dan densitas bulk dari padatan. Pada pengukuran kontinyu diasumsikan bahwa permitivitas relatif dari medium adalah konstan. Untuk air, nilai dielektrisitasnya adalah  $\varepsilon_r = 81$ .

Pada penelitian ini akan dikembangkan sensor kapasitif berbentuk kapasitor silinder yang terdiri dari dua dinding silinder berisi cairan yang akan dideteksi, lihat gambar 1. Dinding silinder terluar merupakan mantel silinder dan elektroda pengukur merupakan silinder terdalam. Stray kapasitansi,  $C_s$ , sampai ketinggian  $h_0$  diabaikan.

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.



**Gambar 1.** Ketinggian permukaan cairan di dalam kapasitor silinder

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 seperti pada gambar berikut:

$$C = C_1 + C_2 = \frac{2\pi \epsilon_0 \epsilon_r h_x}{\ln(D/d)} + \frac{2\pi \epsilon_0 (L - h_x)}{\ln(D/d)} \quad (2)$$

$$C = \frac{2\pi \epsilon_0 L}{\ln(D/d)} + \frac{2\pi \epsilon_0 (\epsilon_r - 1)}{\ln(D/d)} \cdot h_x \quad (3)$$

sehingga diperoleh kapasitansi sensor kapasitif sebesar

$$C \equiv C_0 + \Delta C \quad (4)$$

dengan  $C_0 = \frac{2\pi \epsilon_0 L}{\ln(D/d)}$  dan  $\Delta C = \frac{2\pi \epsilon_0 (\epsilon_r - 1)}{\ln(D/d)} \cdot h_x$

Pada persamaan (4), kapasitansi yang diukur,  $C$ , adalah suatu kombinasi dari

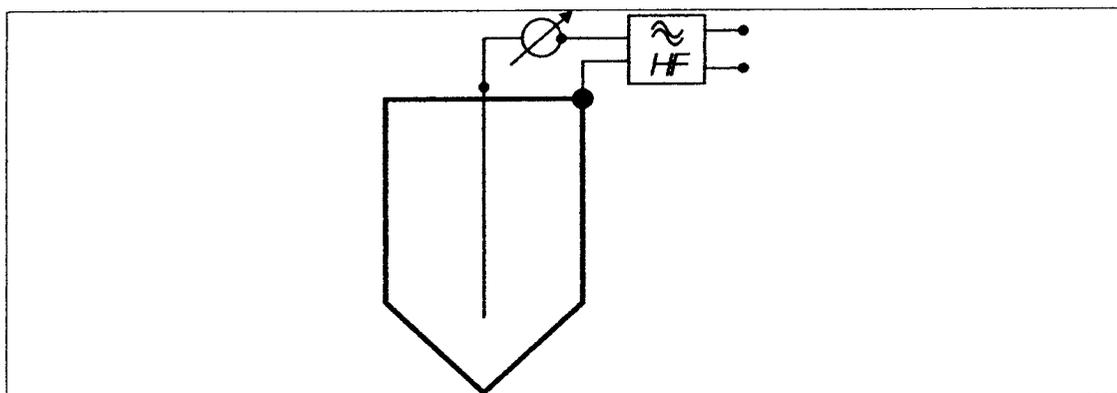
kapasitansi  $C_0$  dari kapasitor kosong dan perubahan dalam kapasitansi  $\Delta C$  yang dihasilkan dari ketinggian medium yang diukur, yang diukur melalui elektroda kapasitif.

Elektroda pengukur terbuat dari batang logam, kabel atau pelat dari bahan konduktif. Jika medium yang diukur adalah konduktif (konduktivitas melebihi  $20\mu\text{S/cm}$ ) maka probe harus diisolasi [Huang et al, 1988]. Jika tabung pengukur terendam di dalam cairan, isolasi dari probe berfungsi sebagai dielektrik yang menentukan kapasitansi, medium konduktif yang diukur berfungsi sebagai elektroda-counter.

Deposit kerak pada elektroda (*probe*) sebagai akibat sebagai contoh; adhesi, kristalisasi atau pembentukan muatan elektrostatis yang berakibat pada hasil pengukuran harus dihindarkan. Daerah deteksi pada probe tertutupi oleh deposit kerak yang efeknya dapat dieliminir mempergunakan elektroda pengkompensasi dan mempergunakan metode pengolahan sinyal [Jones et al, 1973].

### III.2. 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 2 memperlihatkan rangkaian dasar untuk mengukur perubahan kapasitansi dari sensor.



**Gambar 2.** 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.

Untuk sensor kapasitif nilai kapasitansi relatif kecil memerlukan frekuensi suplai yang relatif tinggi untuk memperoleh nilai keluaran yang signifikan. Karena impedansi sensor sangat tinggi maka dipergunakan kabel koaxial sebagai penghubung. Hal ini akan menambah kapasitansi paralel terhadap sensor yang menyebabkan menurunnya sensitivitas dan linearitas. Solusi dari permasalahan diatas dengan menempatkan rangkaian pengolah isyarat sedekat mungkin dengan sensor serta mempergunakan kabel sependek mungkin [Kanno et al, 1978].

Secara umum diperlukan rangkaian pengolah isyarat berikut ini untuk mengubah besarnya perubahan kapasitansi pada elektroda (probe) sensor menjadi sinyal keluaran, yang terdiri dari osilator, untuk menghasilkan frekuensi pengukur, penyearah untuk menghasilkan tegangan searah yang proporsional dengan perubahan kapasitansi sensor dan penguat, untuk memperkuat sinyal keluaran.

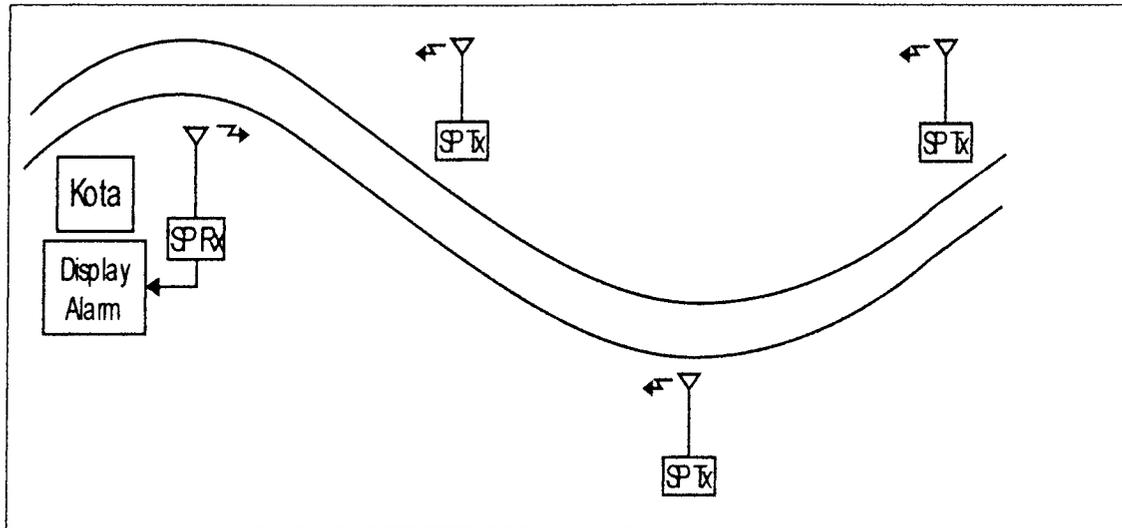
Pengolahan dengan komputer dapat dilakukan dengan mengubah sinyal sensor dari domain analog ke domain digital. Struktur ini terdiri atas multiplexer analog yang dihubungkan dengan Analog to Digital Converter (ADC) [Heerens, 1986].

### **III.3. STRUKTUR SISTEM PENGIRIMAN DATA SENSOR**

Jika pengukuran dan tampilan data terletak berjauhan atau tidak dapat diakses maka diperlukan suatu instalasi yang memungkinkan untuk mentransmisikan (transmitter,  $T_x$ ) dan menerima (receiver,  $R_x$ ) data pengukuran. Situasi ini dimungkinkan jika stasiun pemantau ketinggian permukaan air sungai terletak pada titik yang susah ditempuh oleh manusia. Pada penelitian ini akan dikembangkan sistem telemetri data mempergunakan sinyal frekuensi radio. Kelebihan dari sistem ini adalah kapasitasnya yang jauh lebih besar daripada mempergunakan telemetri kawat dan memungkinkan untuk sejumlah besar saluran pada band yang sama mempergunakan multiplexing [Jones et al, 1986].

Sinyal sensor setelah diolah pada tahap pertama harus dimodulasi untuk dapat

dikombinasikan dengan mode transmisi sehingga dapat diterima oleh modulator pemancar. Untuk mentransmisikan berbagai data hasil pengukuran dapat dilakukan dengan mempergunakan frequency-division multiplexing (FDM) dimana tiap sinyal memodulasi gelombang sub-carrier pada frekuensi yang berbeda. Untuk memperoleh hal ini, sebuah osilator diberikan pada masing-masing sensor dengan alokasi frekuensi yang berbeda. Pada penerima sinyal pembawa di demodulasi dan tiap-tiap kanal dipisahkan mempergunakan filter tertala dan kemudian didemodulasi.



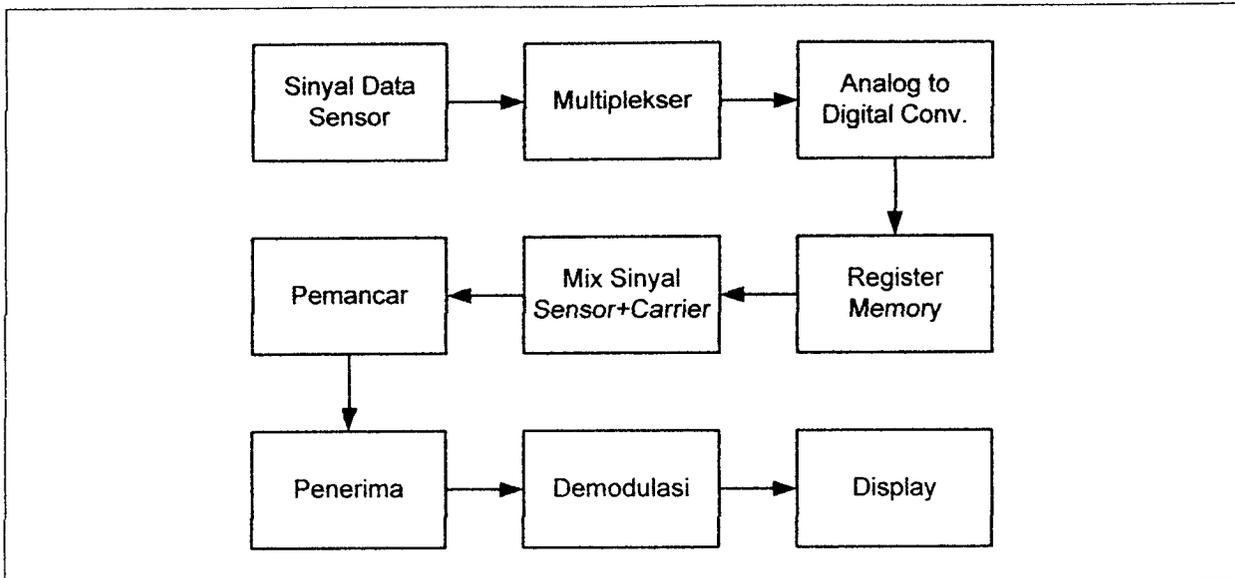
**Gambar 3** Posisi stasiun pemantau (SP) pada daerah aliran sungai dan stasiun penerima pada daerah pemukiman di perkotaan

Sistem sensor dan rangkaian tersebut dipergunakan pada stasiun-stasiun pengamat (SP Tx) yang terletak pada daerah aliran sungai dan ditransmisikan melalui gelombang radio mempergunakan telemetri, gambar 4. Data kemudian ditangkap pada stasiun penerima (SP Rx) untuk kemudian diolah untuk memberikan informasi tentang ketinggian permukaan air sungai.

Seperti hasil yang telah diperoleh pada tahap ke-1 (2006), data hasil pengukuran dalam bentuk tegangan harus diubah terlebih dahulu menjadi bentuk digital. Jika sensor yang diukur lebih dari satu buah maka diperlukan multipleksing mempergunakan saklar digital. Data yang telah dalam bentuk digital kemudian dicampur dengan sinyal pembawa (carrier) dengan frekuensi tertentu. Pada penelitian tahap ke-2 ini direncanakan akan mempergunakan frekuensi carrier sebesar 433MHz atau dengan panjang gelombang FM 70cm, dan dipancarkan mempergunakan antena satu arah Yagi.

Data yang telah dimodulasi dipancarkan melalui antena pada stasiun

pengamatan. Pada stasiun penerima, data kemudian ditangkap oleh antenna, kemudian dilakukan proses demodulasi untuk memisahkan antara gelombang pembawa (carrier) dan gelombang sinyal ukur dari sensor. Setelah difilter dan diperkuat, sinyal hasil pengukuran yang ditangkap pada stasiun penerima dapat diolah lebih lanjut untuk ditampilkan serta jika telah melewati ambang tertentu maka alarm akustik akan berbunyi.



**Gambar 4.** Diagram alir sistem pengiriman data mempergunakan sistem telemetri

Dengan sistem telemetri ini maka kondisi geografis DAS Siak di propinsi Riau yang sulit ditempuh dengan kendaraan bermotor dapat dieliminir. Aplikasi ini tidak terbatas pada DAS Siak, tetapi juga dapat diterapkan pada DAS lainnya.