

# Perancangan Pengukur Kapasitansi Orde Femtofarad Berbasis Rangkaian Aktif Differensial Untuk Sistem *Electrical Capacitance Volume Tomography* (ECVT)

Bayu Sasongko<sup>1</sup>, Muhammad Komarudin<sup>2</sup>, Sri Ratna S.<sup>3</sup>

*Jurusan Teknik Elektro FT Universitas Lampung  
Jln. Soemantri Brojonegoro No. 1 Bandarlampung 35145 INDONESIA*

<sup>1</sup>byyousasongko@gmail.com

<sup>2</sup>komar@unila.ac.id

<sup>3</sup>sriratnasulistiyanti@gmail.com

**Intisari**—*Electrical Capacitance Volume Tomography* (ECVT) adalah suatu teknik pencitraan berdasarkan nilai kapasitansi dari suatu obyek. Sistem ECVT membutuhkan rangkaian pengkondisi sinyal yang mampu mengukur nilai kapasitansi dalam orde femtofarad (fF), kemudian mengubahnya menjadi tegangan (C-V). Rancangan rangkaian pengkondisi sinyal ECVT dengan metode aktif differensial dibuat dengan perangkat lunak LTspice IV. Hasil rancangan yang telah siap kemudian direalisasikan dengan membuat rangkaian pengkondisi sinyal tersebut. Pengujian dilakukan menggunakan sensor ECVT 8 channel dengan menggunakan beberapa sampel yaitu udara, air, dan minyak kelapa sawit (crude palm oil). Proses kalibrasi dilakukan untuk mengetahui range kapasitansi yang dapat diukur dari alat yang dibuat yaitu dengan menetapkan batas bawah (kapasitansi normalisasi) dengan menggunakan benda yang memiliki permitivitas kecil yaitu udara ( $\epsilon = 1$ ) diperoleh nilai kapasitansi sebesar 81,7 fF untuk pasangan elektroda terdekat dan 700,5 fF untuk pasangan elektroda terjauh, sedangkan untuk menetapkan batas atas dengan menggunakan benda yang memiliki permitivitas besar yaitu air ( $\epsilon = 80$ ) diperoleh nilai kapasitansi sebesar 2421,75 fF untuk pasangan elektroda terdekat maupun pasangan elektroda terjauh, sedangkan dengan sampel minyak kelapa sawit ( $\epsilon = 1,75$ ) diperoleh nilai kapasitansi sebesar 1156,9 fF untuk pasangan elektroda terdekat dan 192,4 fF untuk pasangan elektroda terjauh. Sensitivitas yang diperoleh dari pengujian yaitu rata-rata sebesar 1,5982 fF/mV.

**Kata kunci**—ECVT, LtspiceIV, Sensitivitas, Femtofarad, pengkondisi sinyal.

**Abstract**— *Electrical Capacitance Volume Tomography* (ECVT) is an imaging technique based on the value of the capacitance from an object. ECVT systems require signal conditioning circuit that is able to measure the capacitance value in femtofarad (fF) orde, then convert it into a voltage (C-V). The design of the signal conditioning circuit with a differential active methods created with the LTspiceIV software. The results of a design that has been prepared then realized by making the signal conditioning circuit. Tests conducted using sensors ECVT 8 channel by using multiple samples are air, water, and palm oil (crude palm oil). The calibration process is performed to determine the range of capacitance that can be measured, there are determined of normalization capacitance used object which has low permittivity, that is air ( $\epsilon = 1$ ) has capacitance result of 81,7 fF for the closest of electrode pair and 700,5 fF for the farthest of electrode, meanwhile for the maximum value which has high permittivity, that is water ( $\epsilon = 80$ ) had capacitance result of 2422,3 fF for the closest and the farthest of electrode. Meanwhile crude palm oil ( $\epsilon = 1,75$ ) had capacitance value of 1156,9 fF for the closest electrode pair and 192,4 fF for the farthest electrode pair. The result of sensitivity from experience was average of 1,5982 fF/mV

**Keywords**— ECVT, LTspiceIV, Sensitivity, Femtofarad, signal conditioning

## I. PENDAHULUAN

Electrical Capacitance Volume Tomography (ECVT) adalah suatu teknik pencitraan berdasarkan nilai kapasitansi dari suatu obyek. Obyek tersebut dikelilingi oleh beberapa sensor yang mampu menghasilkan citra obyek volumetrik dan real time (seketika). ECVT terdiri dari tiga bagian utama yaitu sensor,

sinyal kondisioning (sistem data akuisisi), dan komputer. Sensor ECVT berupa plat tembaga yang tersusun secara berpasangan layaknya kapasitor, yang berfungsi sebagai elektroda untuk mengukur nilai kapasitansi dari obyek, pengkondisi sinyal berfungsi mengkonversi nilai kapasitansi menjadi nilai tegangan, sedangkan komputer berfungsi untuk mengolah

sinyal-sinyal tersebut dan merekonstruksikanya menjadi suatu citra.

Pada penelitian sebelumnya, terdapat tiga metode rangkaian yang digunakan untuk mendapatkan nilai kapasitansi dari sensor electrical capacitance circuit (ECT), yaitu charge – discharge circuit, ac based circuit, dan active differentiator based capacitance transducer circuit . Berlatar belakang atas masalah masalah tersebut, maka penulis melakukan penelitian tentang pengukuran nilai kapasitansi sensor ECVT dengan metode rangkaian aktif differensial untuk mendapatkan nilai kapasitansi sensor ECVT dalam orde femtofarad.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Kapasitor Keping Sejajar

Kapasitor adalah komponen elektronika yang terdiri dari dua konduktor yang berdekatan tetapi terisolasi satu sama lain dan membawa muatan yang sama besar dan berlawanan. Ketika kapasitor terhubung pada piranti yang bermuatan misalnya baterai, muatan akan dipindahkan dari satu konduktor ke konduktor lainnya sampai beda potensial antara kutub positif (+) dan kutub negatif (-) sama dengan beda potensial antara kutub positif (+) dan kutub negatif (-) baterai. Jumlah muatan (Q) yang dipindahkan tersebut sebanding dengan beda potensial.

Besarnya kapasitansi suatu kapasitor tergantung pada bahan dielektrik yang digunakan, luas penampang plat (A), dan jarak antara kedua plat (d). Kapasitansi dari kapasitor berbanding lurus dengan luas plat dan berbanding terbalik dengan jarak antara plat-plat atau dapat ditulis dengan :

$$C = \epsilon_0 \cdot (k \frac{A}{d})$$

Keterangan:

$\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{C/Nm}$  (permitifitas ruang hampa)

A = luas plat ( $\text{m}^2$ )

d = jarak antara kedua plat (m)

k = konstanta dielektrik

Suatu material non-konduktor seperti kaca, kertas, air atau kayu disebut dielektrik. Ketika ruang diantara dua konduktor pada suatu kapasitor diisi dengan dielektrik, kapasitansi naik sebanding dengan faktor k yang merupakan karakteristik dielektrik dan disebut sebagai konstanta dielektrik. Kenaikan kapasitansi disebabkan oleh melemahnya medan listrik diantara keping kapasitor akibat kehadiran dielektrik. Dengan demikian, untuk jumlah muatan tertentu pada keping kapasitor, beda potensial menjadi lebih kecil dan kapasitansi kapasitor akan bertambah besar.

Konstanta dielektrik atau permitifitas listrik relative melambangkan rapatnya fluks elektrostatis dalam suatu bahan bila diberi potensial listrik, sehingga merupakan perbandingan energi listrik yang tersimpan pada bahan tersebut jika diberi sebuah potensial relatif terhadap vakum (ruang hampa). Bahan dielektrik pada suatu kapasitor menghambat aliran arus antar platnya. Berbagai bahan digunakan untuk dielektrik seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai konstanta dielektrik suatu bahan

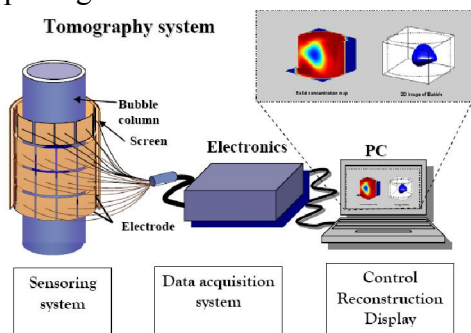
| Bahan  | Konstanta Dielektrik |
|--------|----------------------|
| Vakum  | 1                    |
| Udara  | 1,006                |
| Mika   | 3-6                  |
| Kayu   | 2-8                  |
| Air    | 80,37                |
| Logam  | ~                    |
| Minyak | 1,75                 |

### B. Electrical Capacitance Volume Tomography (ECVT)

Electrical Capacitance Volume Tomography atau ECVT merupakan metode untuk menentukan distribusi permitifitas dielektrik secara volumetrik dari objek yang berada di dalam interior yang dilingkupi oleh sensor dengan menggunakan prinsip pengukuran kapasitansi. ECVT pertama dikembangkan oleh Warsito dkk pada tahun 2007. Ide pertamanya dikembangkan sejak tahun 2003. Prinsip ECVT agak berbeda dengan teknis tomography secara umum, di mana ECVT tidak berbasis pada proyeksi garis seperti CT sinar-X maupun MRI

melainkan pengukuran kapasitansi volumetrik seluruh medium tiga dimensi yang dilingkupi oleh sensor kapasitansi. Ruang tiga dimensi yang merupakan domain terukur di dalam ECVT juga tidak harus berbentuk silinder sebagaimana sistem tomography umumnya, akan tetapi bisa berupa ruangan sembarang atau bahkan ruangan terbuka yang bisa dijangkau oleh medan listrik statis yang diciptakan oleh elektroda dari sensor yang bisa dibuat bermacam-macam bentuk.

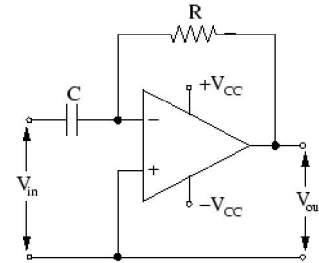
Sistem ECVT terbagi menjadi tiga komponen dasar yaitu : sensor kapasitansi, elektronik sensing untuk akuisisi data dan sistem komputer untuk rekonstruksi image, interpretasi dan tampilan. Kapasitansi sensor terdiri dari beberapa elektroda yang dilokasikan disekeliling objek. Pada ECVT, N sistem elektroda memberikan  $N(N-1)/2$  pengukuran secara independent. Kapasitansi yang diukur adalah fungsi dari konstanta dielektrik (permitifitas) yang mengisi ruangan antara pasangan elektroda.



Gbr. 1 Sistem Tomography ECVT

### C. Differensiator

Differensiator adalah rangkaian yang melakukan operasi differensiasi secara matematika. Rangkaian ini menghasilkan tegangan keluaran yang sebanding dengan kemiringan tegangan masukan. Rangkaian dasar differensiator adalah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



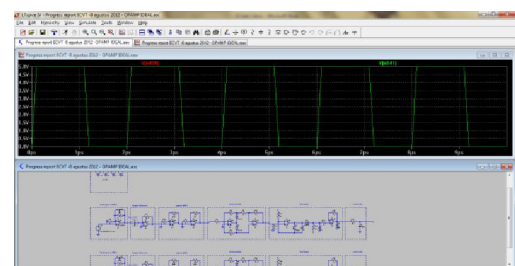
Gbr. 2 Rangkaian Differensiator OP-Amp

Rumus besarnya tegangan output ( $V_{out}$ ) pada rangkaian differensiator adalah:

$$V_{out} = -RC \frac{dV_{in}}{dt}$$

### D. LTspice IV

SPICE (Simulator Program with Integrated Circuit Emphasis) adalah program komputer yang digunakan untuk menghitung (simulasi) perilaku rangkaian listrik. Program ini terutama di arahkan untuk perancangan rangkaian terpadu (IC). Data masukan program ini, yang disebut sebagai input-deck adalah berkas yang isinya merupakan paparan rangkaian yang hendak dihitung. Meliputi tata hubungan (topology) rangkaian serta nilai-nilai parameter dari setiap elemen rangkaian, misalnya sumber arus (I), sumber tegangan (V), resistansi (R), kapasitansi (C), dan induktansi (L).

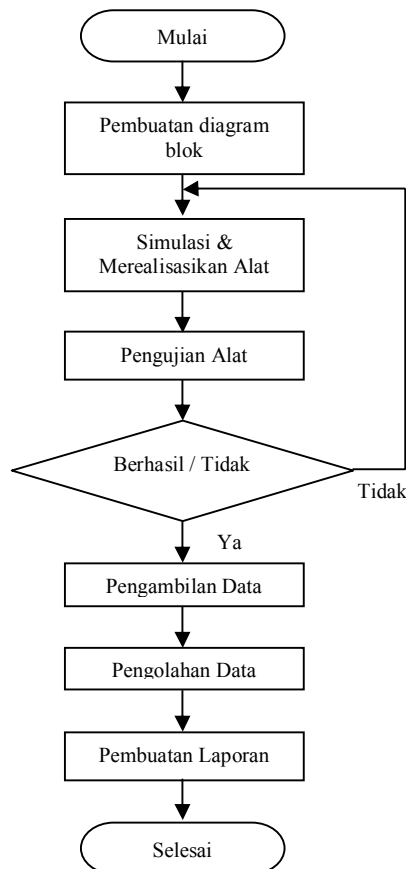


Gbr. 3 Tampilan program LTspice

## III. METODE PENELITIAN

### A. Langkah Kerja Penelitian

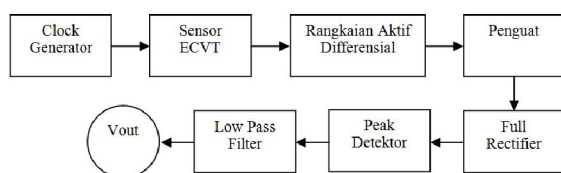
Langkah kerja penelitian yang dilakukan ditunjukkan pada Gambar 4.



Gbr. 4 Diagram alir penelitian

### B. Rancangan Alat

Rancangan alat yang dibuat terdiri beberapa blok rangkaian yaitu sensor kapasitansi, rangkaian clock generator, rangkaian diferensiator, rangkaian penguat, rangkaian full rectifier, rangkaian peak detektor, dan rangkaian low pass filter seperti terlihat pada Gambar 5

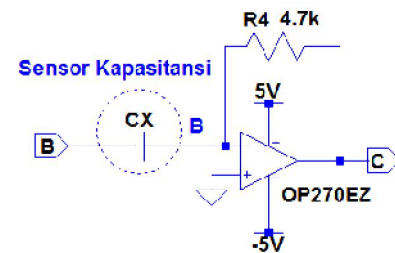


Gbr. 5 Blok diagram rancangan alat

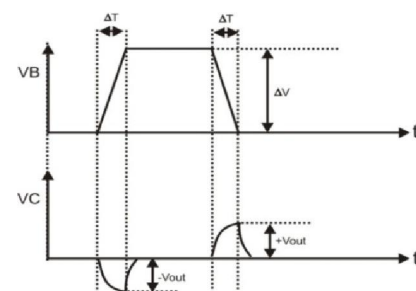
### C. Rangkaian Aktif Diferensial

CX adalah elektroda yang berfungsi sebagai sensor kapasitansi. Gelombang persegi dengan amplitudo 10 V dan frekuensi 500KHz di alirkan ke salah satu elektroda sehingga medan listrik akan di tangkap elektroda yang lain. Perubahan sinyal dari rendah ke tinggi atau

dari tinggi ke rendah menyebabkan arus charge and discharge. Amplitudo dari arus charge-discharge dipengaruhi oleh permitivitas objek yang diukur. Gambar 6 merupakan rangkaian aktif differensial. Sementara Gambar 7 merupakan diagram waktu untuk rangkaian aktif differensial.



Gbr. 6 Rangkaian aktif differensial



Gbr. 7 Diagram waktu rangkaian aktif differensial

Nilai CX dapat dicari dengan menggunakan persamaan :

$$Cx = \frac{V}{R \left( \frac{\Delta V}{\Delta T} \right)}$$

Dimana:

Cx : Nilai kapasitansi (Farad)

V : Tegangan keluaran rangkaian aktif differensial

R : Resistansi rangkaian aktif differensial

ΔV : Tegangan pulsa (volt)

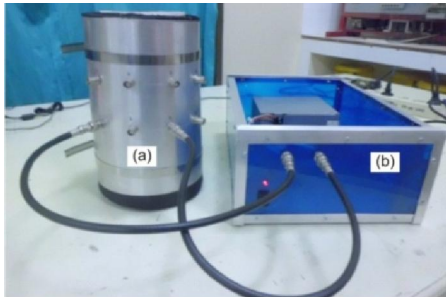
ΔT : Kemiringan pulsa

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Hasil Penelitian

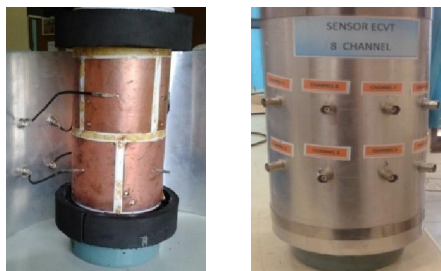
Telah direalisasikan alat pengukur kapasitansi orde femtofarad berbasis rangkaian aktif differensial untuk sistem electrical capacitance volume tomography (ECVT). Pada penelitian ini perangkat yang dirancang yaitu sensor kapasitansi dan rangkaian pengkondisi

sinyal. Gambar 8 merupakan hasil rancangan alat pengukur kapasitansi berbasis rangkaian aktif differensial untuk ECVT.



Gbr. 8 a) sensor kapasitansi b) rangkaian pengkondisi sinyal

Sensor kapasitansi terbuat dari tembaga lembaran dan dipotong persegi dengan ukuran 8 x 8 cm kemudian di tempatkan di pipa PVC 4 inchi. Sensor yang dibuat dilindungi oleh seng di sekeliling elektroda. Seng ini terhubung ke ground yang berfungsi untuk melindungi sensor kapasitansi dari noise luar yang bisa mengganggu hasil pengukuran. Selubung ini juga tempat untuk meletakkan konektor BNC. Konektor BNC berfungsi untuk menghubungkan antara sensor dengan rangkaian pengkondisi sinyal.

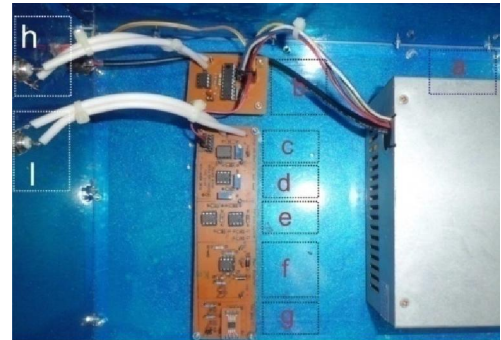


Gbr. 9 Hasil rancangan sensor kapasitansi

Gambar 9 adalah hasil rancangan sensor kapasitansi. Sensor yang di realisasikan menggunakan 8 elektroda persegi dua tingkat. Pada elektroda tingkat kedua diputar sejauh 45° dari elektroda sensor pada tingkat pertama. Hal ini dimaksudkan untuk melihat perbedaan hasil peta matriks sensitivitas, dan juga untuk melihat perbedaan nilai kapasitansi antar elektroda ketika salah satunya diputar 45°.

Rangkaian pengkondisi sinyal berfungsi untuk merubah besaran kapasitansi menjadi

besaran tegangan (C ke V). Rangkaian pengkondisi sinyal terdiri dari rangkaian clock generator, rangkaian diferensiator, rangkaian penguat, rangkaian full wave rectifier, rangkaian peak detektor, dan rangkaian low pass filter. Rangkaian schematic pengkondisi sinyal dibuat menggunakan perangkat lunak LTspice IV sehingga rangkaian bisa langsung disimulasikan. Gambar 10 merupakan hasil perancangan rangkaian pengkondisi sinyal.



Gbr. 10 Rangkaian Pengkondisi Sinyal

Keterangan gambar ;

- a) Catu daya
- b) Rangkaian *clock generator*
- c) Rangkaian diferensiator
- d) Rangkaian penguat
- e) Rangkaian *full wave rectifier*
- f) Rangkaian *peak detektor*
- g) Rangkaian *low pass filter*
- h) Ke elektroda 1 (*source/transmitter*)
- i) Ke elektroda 2 (*detector*)

## B. Simulasi Rangkaian dengan LTspice IV

Pemodelan melalui simulasi untuk mencari nilai komponen yang optimal merupakan suatu hal yang *simple*, efisien dan ekonomis dibandingkan dengan percobaan sesungguhnya. Simulasi rangkaian pada penelitian ini menggunakan LTspice IV. Adapun langkah-langkah simulasi di LTspice adalah sebagai berikut:

- Membuat file schematic baru, dengan cara memilih menu file, pilih new schematic.
- Membuat rangkaian dilembar kerja, untuk memilih komponen yang

diperlukan pilih menu edit, kemudian pilih component.

- Mengatur bentuk analisis yang diperlukan, yaitu dengan cara memilih menu simulate, pilih edit simulation cmd. Isi tab transient pada kolom stop time dengan nilai 100 $\mu$ s.
- Menjalankan simulasi rangkaian dengan cara pilih menu simulate, kemudian pilih run.
- Selanjutnya muncul jendela baru yang menampilkan bentuk sinyal. Untuk melihat bentuk gelombang, arahkan mouse ke titik rangkaian yang akan diamati.

Pada simulasi rangkaian digunakan komponen *voltage source* dengan setting *function PULSE (V1 V2 Tdelay Trise Tfall Ton Tperiod Ncycles)* dengan nilai PULSE (0 5 0 0 0 1 $\mu$  2 $\mu$ ) untuk pembangkit pulsa sebagai pengganti mikrokontroler ATtiny 2313. Untuk mengamati bentuk sinyal pada LTspice digunakan perintah :

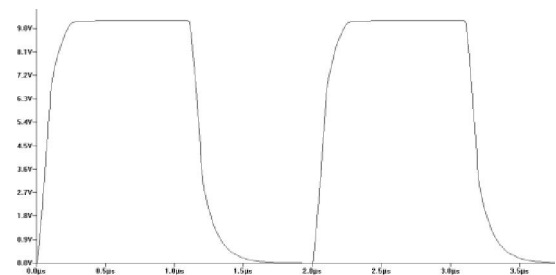
.tran Xu

Perintah ini digunakan untuk mengamati bentuk gelombang *transient* selama X microsecond ( $\mu$ s). Nilai X merupakan nilai yang bisa dirubah sesuai kebutuhan. Op-amp yang digunakan pada simulasi LTspice menggunakan model op-amp sebenarnya sesuai tipe op-amp yang dipakai yaitu dengan cara membuat library sendiri dengan mengambil spice model yang bisa didapatkan di website pembuat op-amp tersebut.

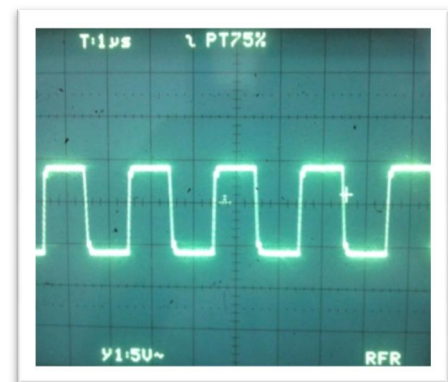
### C. Pengujian Rangkaian Clock Generator

Rangkaian clock generator berfungsi untuk menghasilkan gelombang persegi dengan kemiringan (slew rate) tertentu yang akan diberikan pada sensor kapasitansi. Pengujian menggunakan osiloskop untuk mengetahui bentuk, frekuensi serta amplitude gelombang dari rangkaian clock generator. Gambar 11 merupakan hasil simulasi rangkaian pembangkit pulsa dengan LTspice sedangkan Gambar 12 merupakan hasil pengujian rangkaian pembangkit pulsa pada rangkaian sebenarnya dengan menggunakan osiloskop.

Dari simulasi LTspice didapatkan amplitude gelombang sebesar 9,28 V dengan frekuensi 500 KHz sedangkan hasil pengujian dengan osiloskop didapat nilai amplitude sebesar 10 V dengan kemiringan sinyal sebesar 150 ns dengan frekuensi 500 KHz.



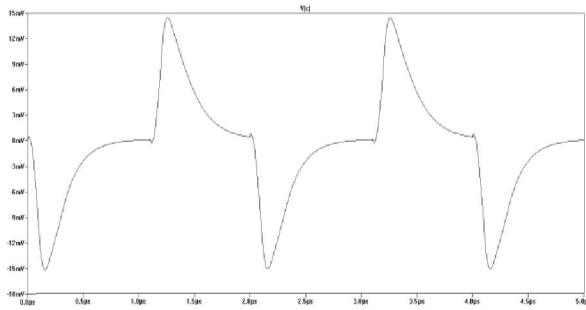
(



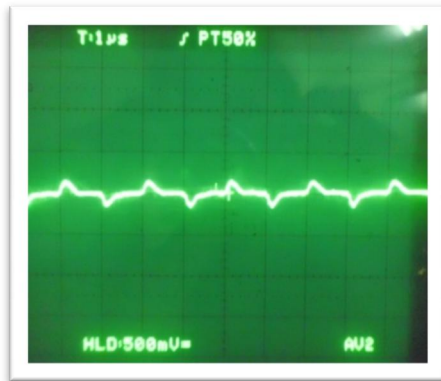
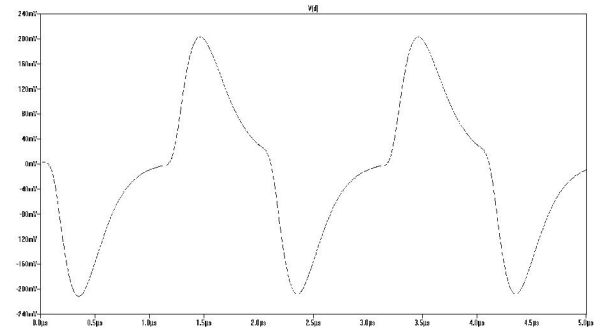
Gbr. 12 Hasil pengujian rangkaian pembangkit pulsa pada rangkaian sebenarnya

### D. Pengujian Rangkaian differensiator

Rangkaian differensiator merupakan rangkaian yang berfungsi untuk merubah nilai kapasitansi menjadi nilai tegangan. Sinyal yang datang dari elektroda penerima dihubungkan dengan rangkaian ini. Gambar 13 merupakan hasil simulasi rangkaian differensiator, sedangkan Gambar 14 merupakan hasil pengujian rangkaian differensiator pada rangkaian sebenarnya dengan menggunakan osiloskop. Dari simulasi LTspice didapatkan amplitude gelombang sebesar 14 mV sedangkan hasil pengujian yang sebenarnya didapat nilai amplitude sebesar 200 mV.



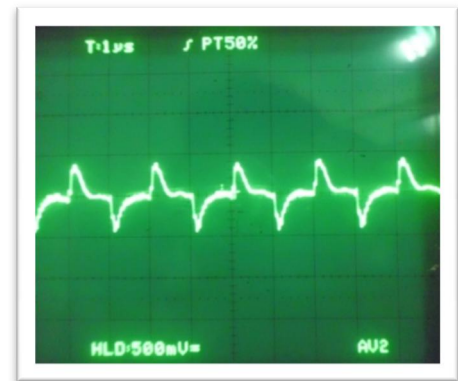
Gbr.



Gbr.14 Hasil pengujian rangkaian differensiator pada rangkaian sebenarnya

#### E. Pengujian Rangkaian Penguat

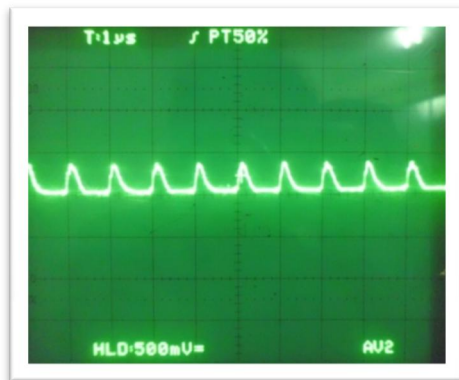
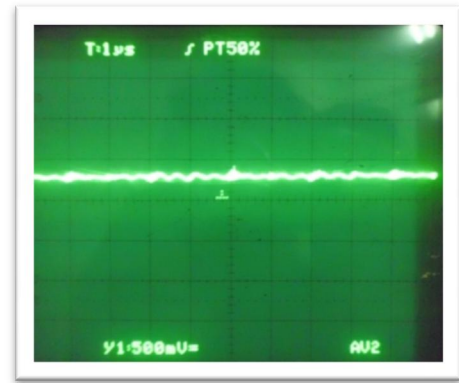
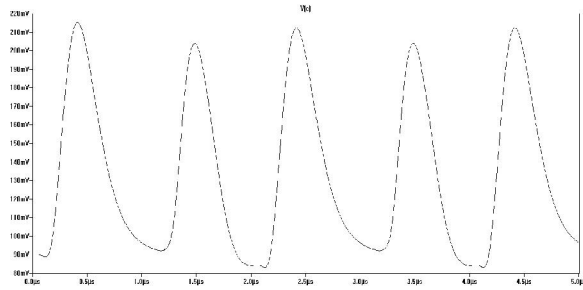
Rangkaian penguat berfungsi untuk memperbesar sinyal dari rangkaian differensiator yang masih kecil amplitudonya. Penguatan yang dilakukan pada penelitian ini yaitu sebesar 2 kali, karena dengan penguatan sebesar ini sinyal sudah dapat diolah pada rangkaian berikutnya. Gambar 15 merupakan hasil simulasi penguat, sedangkan Gambar 16 merupakan hasil pengujian rangkaian penguat pada rangkaian sebenarnya dengan menggunakan osiloskop. Dari simulasi LTspice didapatkan amplitude gelombang sebesar 202,42 mV sedangkan hasil pengujian yang sebenarnya didapat nilai amplitude sebesar 400 mV.



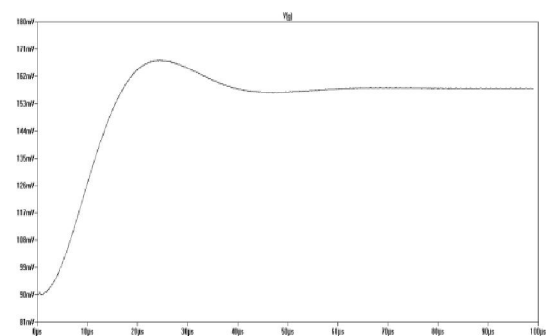
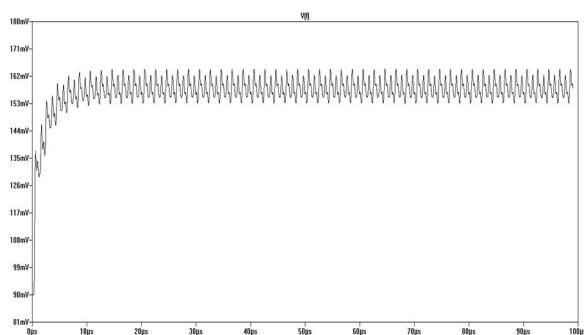
Gbr.16 Hasil pengujian rangkaian penguat pada rangkaian sebenarnya

#### F. Pengujian full Wave Rectifier

Rangkaian full wave rectifier berfungsi untuk menyearah gelombang pada rangkaian sebelumnya. Pada rangkaian sebelumnya sinyal yang dihasilkan berupa sinyal bolak-balik sehingga perlu disearahkan sebelum masuk pada rangkaian peak detektor. Gambar 17 merupakan hasil simulasi penguat awal, sedangkan Gambar 18 merupakan hasil pengujian rangkaian penguat awal pada rangkaian sebenarnya dengan menggunakan osiloskop. Dari simulasi LTspice didapatkan amplitude gelombang sebesar 212,13 mV - 203,98mV sedangkan hasil pengujian yang sebenarnya didapat nilai amplitude sebesar 400 mV.



G  
p  
G  
  
m  
m  
se  
pe  
ra  
o:  
ai  
se  
di

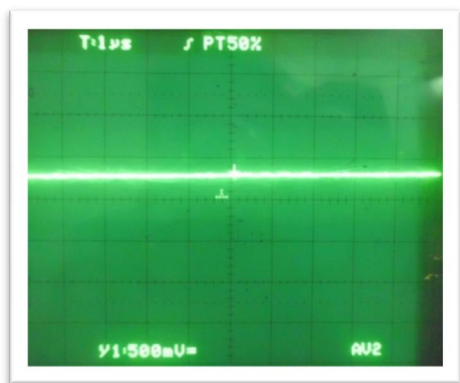


Gbr .19 . Hasil simulasi rangkaian peak detector dengan LTspice

1

peak  
ika  
uhi  
i di  
ter.  
ang  
hz,  
21  
ter,  
asil  
ada  
kan  
kan  
mV  
nya

r



Gbr. 22  
pada ra

I. Per

Dat  
filter  
mence  
teruku  
kapasit  
yaitu :

Ketera  
Vout

R  
 $\Delta V$   
 $\Delta T$

Misalk  
nilai ka

K

K

K

Sehing  
menjac

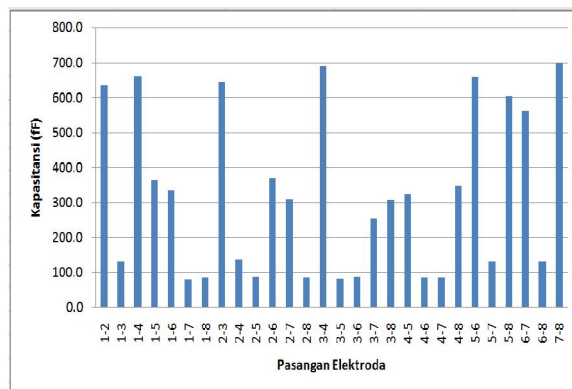
$$C_x = \frac{V}{K}$$

Dimana :

$C_x$  : Nilai kapasitansi yang terukur (Farad)

$V$  : Tegangan keluaran rangkaian aktif  
diferensial (V)

$K$  : Konstanta



Gbr. 23 Grafik bar kapasitansi dalam keadaan kosong

Gambar 23 memperlihatkan grafik bar nilai kapasitansi dalam keadaan kosong (udara) dengan permitifitas  $\epsilon = 1$ . Data yang ditampilkan sebanyak 28 data. Dari grafik bar

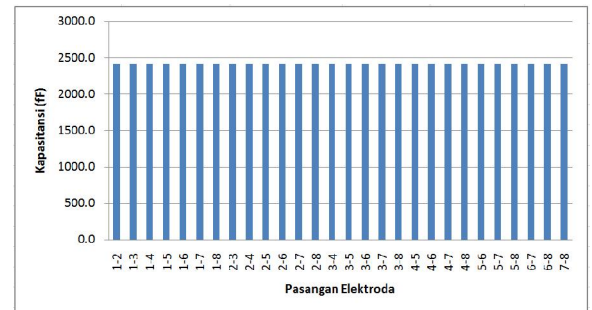
terlihat pasangan elektroda yang berdekatan mempunyai nilai kapasitansi yang tertinggi yaitu 1-2, 1-4, 2-3, 3-4 yang berada pada tingkat bawah, dan pasangan elektroda 5-6, 5-8, 6-7, 7-8 yang berada pada tingkat atas, pasangan elektroda tersebut mempunyai nilai kapasitansi besar karena berada paling dekat dengan transmitter. Untuk pengukuran nilai kapasitansi yang sedang di tunjukkan oleh pasangan elektroda 1-5, 1-6, 2-6, 2-7, 3-7, 3-8, 4-5, 4-8. Pasangan elektroda ini mempunyai kapasitansi sedang karena elektroda-nya berdekatan namun berbeda tingkat. Sedangkan kapasitansi yang terkecil yaitu pasangan elektroda 1-3, 2-4 yang berada pada tingkat bawah, pasangan elektroda 5-7, 6-8 yang berada pada tingkat atas, dan pasangan elektroda 1-7, 1-8, 2-5, 2-8, 3-5, 3-6, 4-6, 4-7 yang berbeda tingkatnya, pasangan elektroda tersebut mempunyai nilai kapasitansi kecil karena berada paling jauh dengan transmitter. Dari grafik terlihat diperoleh nilai kapasitansi sebesar 700,5 fF untuk pasangan elektroda terdekat dan 81,7 fF untuk pasangan elektroda terjauh.

Data yang diperoleh dari rangkaian low pass filter merupakan nilai tegangan yang mencerminkan besarnya kapasitansi

Rangkaian peak detektor berfungsi untuk mendeteksi nilai puncak. Gambar 19 merupakan hasil simulasi peak detektor, sedangkan Gambar

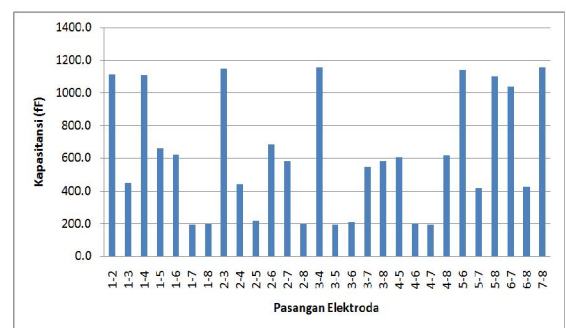
#### K. Pengukuran Kapasitansi Pada Saat Sensor Terisi Penuh dengan air ( $\epsilon = 80$ )

Setelah dilakukan pengukuran kapasitansi dalam keadaan kosong kemudian dilakukan pengukuran kapasitansi dalam keadaan penuh yang berisi air dengan permitifitas  $\epsilon = 80$ . Pengukuran ini bertujuan untuk melihat nilai kapasitansi maksimum yang bisa terukur karena air memiliki nilai permitifitas yang besar. Gambar 24 memperlihatkan grafik bar nilai kapasitansi dalam keadaan penuh yang berisi air dengan permitifitas  $\epsilon = 80$ .



Gbr. 24 Grafik bar kapasitansi dalam keadaan terisi penuh dengan air

Gambar 24 memperlihatkan grafik bar nilai kapasitansi dalam keadaan penuh yang berisi air dengan permitifitas  $\epsilon = 80$ . Dari grafik terlihat bahwa nilai kapasitansi mengalami perubahan yang signifikan dibandingkan dengan sensor dalam keadaan kosong. Dari grafik terlihat semua pasangan elektroda menunjukkan nilai maksimum yang bisa diukur yaitu sebesar 2421,753 fF. Nilai ini dijadikan batas atas dalam pengukuran nilai kapasitansi.



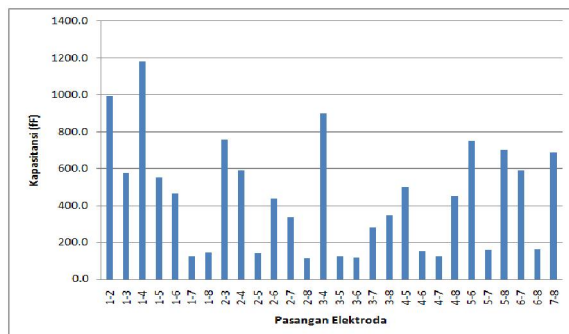
Gbr. 25 Grafik bar kapasitansi dalam keadaan terisi penuh dengan minyak

Gambar 25 memperlihatkan grafik bar nilai kapasitansi dalam keadaan terisi penuh dengan minyak kelapa sawit dengan permitifitas  $\epsilon = 1,75$ . Data yang ditampilkan sebanyak 28 data. Dari grafik bar terlihat pasangan elektroda yang berdekatan mempunyai nilai kapasitansi yang tertinggi yaitu 1-2, 1-4, 2-3, 3-4 yang berada pada tingkat bawah, dan pasangan elektroda 5-6, 5-8, 6-7, 7-8 yang berada pada tingkat atas, pasangan elektroda tersebut mempunyai nilai kapasitansi besar karena berada paling dekat dengan transmitter. Untuk pengukuran nilai kapasitansi yang sedang di tunjukkan oleh pasangan elektroda 1-5, 1-6, 2-6, 2-7, 3-7, 3-8, 4-5, 4-8. Pasangan elektroda

ini mempunyai kapasitansi sedang karena elektroda-nya berdekatan namun berbeda tingkat. Sedangkan kapasitansi yang terkecil yaitu pasangan elektroda 1-3, 2-4 yang berada pada tingkat bawah, pasangan elektroda 5-7, 6-8 yang berada pada tingkat atas, dan pasangan elektroda 1-7, 1-8, 2-5, 2-8, 3-5, 3-6, 4-6, 4-7 yang berbeda tingkatnya, pasangan elektroda tersebut mempunyai nilai kapasitansi kecil karena berada paling jauh dengan transmitter. Dari grafik terlihat diperoleh nilai kapasitansi sebesar 1156.9 fF untuk pasangan elektroda terdekat dan 192.4 fF untuk pasangan elektroda terjauh.

#### L. Pengukuran Kapasitansi Pada Saat Sensor Terisi Campuran Air, Minyak dan Udara Pada Posisi Vertikal

Setelah dilakukan pengukuran kapasitansi sebelumnya dengan volume yang berubah-ubah, kemudian dilakukan pengukuran kapasitansi dalam keadaan terisi campuran air 800 ml, minyak 800 ml dan udara 800 ml pada posisi sensor berdiri (vertikal). Gambar 26 memperlihatkan grafik bar kapasitansi ketika sensor berisi campuran air, minyak dan udara dalam posisi sensor vertikal.



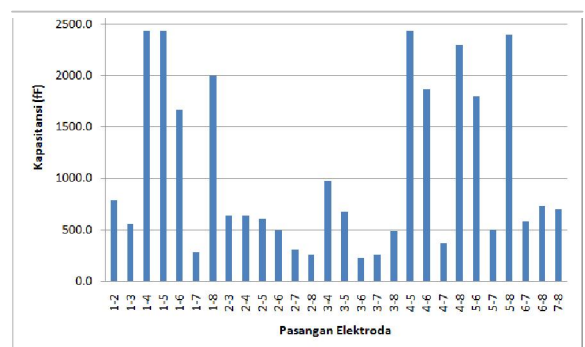
Gbr. 26 Grafik bar kapasitansi sensor terisi dengan campuran air, minyak dan udara pada posisi vertikal

Gambar 26 memperlihatkan grafik bar kapasitansi ketika sensor berisi campuran air, minyak dan udara dalam posisi sensor vertikal. Dari grafik terlihat bahwa pasangan elektroda 1-2, 1-3, 1-4, 2-4, 2-3, 5-6 mempunyai nilai kapasitansi yang lebih tinggi dibanding dengan pasangan elektroda yang lain, hal ini disebabkan pada bagian bawah sensor berisi

air yang mempunyai permitifitas yang tinggi, sedang pasangan elektroda yang berisi dengan minyak yang mempunyai nilai permitifitas yang sedang yaitu pasangan elektroda 1-5, 1-6, 2-6, 2-7, 4-5, 4-8, 5-8, 6-7, 7-8. Sedangkan pasangan elektroda yang lain mempunyai nilai kapasitansi yang rendah karena berisi dengan udara yaitu pasangan elektroda 1-7, 1-8, 2-5, 2-8, 3-5, 3-6, 4-6, 4-7, 5-7, 6-8. Nilai kapasitansi terkecil yaitu 114,9 fF untuk pasangan elektroda 2-8 sedangkan nilai kapasitansi terbesar yaitu 1184 fF untuk pasangan elektroda 1-4.

#### M. Pengukuran Kapasitansi Pada Saat Sensor Terisi Campuran Air, Minyak dan Udara Pada Posisi Horizontal

Setelah dilakukan pengukuran kapasitansi dalam keadaan terisi penuh dengan campuran antara air, minyak dan udara pada posisi sensor berdiri (vertikal) kemudian dilakukan pengukuran kapasitansi dalam keadaan terisi campuran antara air, minyak dan udara pada posisi sensor horizontal. Gambar 27 memperlihatkan grafik bar kapasitansi ketika sensor berisi campuran air, minyak dan udara dalam posisi sensor horizontal.



Gbr. 27 Grafik bar kapasitansi sensor terisi dengan campuran air, minyak dan udara pada posisi horizontal

Gambar 27 memperlihatkan grafik bar kapasitansi ketika sensor berisi campuran air, minyak dan udara dalam posisi sensor horizontal. Dari grafik terlihat bahwa pasangan elektroda 1-4, 1-5, 1-6, 1-8, 4-5, 4-6, 5-6, 4-8 dan 5-8 mempunyai nilai kapasitansi yang lebih tinggi dibanding dengan pasangan

elektroda yang lain, hal ini disebabkan pada sensor berisi air yang mempunyai permitifitas yang tinggi, sedangkan pasangan elektroda 1-2, 3-4, 3-5, 6-8, 7-8 mempunyai nilai kapasitansi yang lebih rendah karena berisi minyak. Dan pasangan elektroda 1-3, 1-7, 2-6, 2-7, 2-8, 3-6, 3-7, 3-8, 4-7, 5-7, 6-7 mempunyai nilai kapasitansi yang paling rendah karena berisi udara. Nilai kapasitansi terkecil yaitu 227,2 fF untuk pasangan elektroda 3-6 sedangkan nilai kapasitansi terbesar yaitu 2436,7 fF untuk pasangan elektroda 1-4.

#### N. Pengukuran Sensitifitas Sensor ECVT

Sensitifitas adalah perubahan nilai kapasitansi terhadap perubahan tegangan, dihitung dari perbandingan keadaan kosong dan penuh dan dapat dicari dengan menggunakan persamaan :

$$s = \frac{C_f - C_e}{V_f - V_e}$$

Keterangan:

s : Sensitifitas (fF/mV).

C<sub>f</sub> : Nilai kapasitansi pada saat penuh.

C<sub>e</sub> : Nilai kapasitansi pada saat kosong.

V<sub>f</sub> : tegangan keluaran pada saat penuh.

V<sub>e</sub> : Tegangan pada saat kosong

Sensitifitas yang diperoleh dari pengujian yaitu rata-rata sebesar 1,5982 fF/mV.

### IV. SIMPULAN DAN SARAN

#### A. Simpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Pengkondisi sinyal yang dibuat dengan metode aktif differensial mampu membedakan nilai kapasitansi ketika dilakukan pengujian dengan beberapa sampel yaitu udara, air, dan minyak kelapa sawit (*crude palm oil*) yang memiliki beda permitifitas dengan nilai kapasitansi dalam orde femtofarad.
2. Untuk mengetahui range kapasitansi yang bisa terukur dari alat yang dibuat yaitu dengan menetapkan batas bawah dengan menggunakan benda yang memiliki permitifitas kecil yaitu udara ( $\epsilon = 1$ ) diperoleh nilai kapasitansi sebesar 700,5 fF

untuk pasangan elektroda terdekat dan 81,7 fF untuk pasangan elektroda terjauh. Sedangkan untuk menetapkan batas atas dengan menggunakan benda yang memiliki permitifitas besar yaitu air ( $\epsilon = 80$ ) diperoleh nilai kapasitansi sebesar 1209,6 fF untuk semua pasangan elektroda.

3. Sensitifitas yang diperoleh dari pengujian yaitu rata-rata sebesar 1,5982 fF/mV

#### B. Saran

Untuk pengembangan penelitian selanjutnya, disarankan untuk mempertimbangkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Pada penelitian sinyal banyak mengalami *noise*, sehingga pada penelitian selanjutnya disarankan untuk memperbaiki kualitas rangkaian yang dibuat antara lain memperbaiki kualitas PCB, memperbaiki kualitas soldering, dan memperbaiki kualitas sambungan antar kabel elektroda, sehingga didapatkan sinyal dengan *noise* yang kecil.
2. Menambah rangkaian multiplexer sehingga tidak memerlukan pemindahan konektor BNC dari elektroda satu ke elektroda lainnya secara manual.
3. Pengujian sensor ECVT dengan alat ukur kapasitansi standar.

### UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih penulis haturkan kepada:

1. Kedua orangtua yang memberikan dukungan baik moril dan materil.
2. Bapak M. Komarudin, Ibu Sri Ratna dan Bapak Ageng Sadnowo sebagai pembimbing.
3. Semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan penelitian ini

### REFERENSI

- [1] A. Deka, "Rancang Bangun Sensor Dan Transduser Kapasitansi Ke Tegangan Pada Electrical Capacitance Volume Tomography (ECVT)," Skripsi, Universitas Lampung, Bandar Lampung, 2011.

- [2] A. Yusuf, “Pengembangan sistem data akuisisi Electrical Capacitance Volume Tomography (ECVT),” Tesis, Universitas Indonesia, Depok, 2010.
- [3] D. C. Giancoli, “Fisika Jilid 2,” Edisi ke-5, Jakarta: C.V. Yadaguna, 2001.
- [4] D. Haliday and R. Resnick, “Fisika Jilid 2,” Edisi ke 3, Jakarta: Erlangga, 1986.
- [5] F. T. Kuhn and P. A. V. Halderez, “Design of an Active-Differentiator-Based Capacitance Transducer For Electrical Capacitance Tomography,” *Meas. Sci. Technol.*, vol. 8, pp. 947-950, 1997.
- [6] L. J. Young and P. M. Cheol, “Development of the Electric Capacitance Tomography for Two-phase Flow Visualization,” in *Proc. ICAPP’06*, HanDong Global University, Heunghae Pohang Korea, 2006.
- [7] Sear and Zemansky, “Handbook of Chemistry and Physics 26<sup>th</sup> Edition,” John Willey and Sons, Inc., New York, 1971.
- [8] P. Soedjojo, “Fisika Dasar,” Yogyakarta: PT. Andi Yogyakarta, 2000.
- [9] P. Tipler, “Fisika Untuk Sains dan Teknik,” Edisi ke-3 jilid 2, Jakarta: Erlangga, 1991.
- [10] W. Warsito, Q. Maradeshdes, F. Wang, and L. S. Fan, “Electrical Capacitance Volume Tomography: Design and Applications,” in *Sensors Journal*, pp. 1890-1917, 2010.
- [11] W. Q. Yang, “Hardware Design Of Electrical Capacitance Volume Tomography System,” *Meas. Sci. Technol.*, vol.7, pp. 225–232, 1996.