

# PEMBUATAN ALAT UKUR LEVEL AIR TANGKI DAN SISTEM BACKUP KENDALI PEMANAS, INSTALASI UNTAI SISTEM SIRKULASI ALAMIAH (USSA-FT01)

Maswan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>PT Hadinata Brothers & Co

Jl Tapos Km 01 PO Box 23 Cibinong Bogor Jawa Barat

E-mail: maswan\_ligna@yahoo.com

## ABSTRAK

**PEMBUATAN ALAT UKUR LEVEL AIR TANGKI DAN SISTEM BACKUP KENDALI PEMANAS INSTALASI UNTAI SISTEM SIRKULASI ALAMIAH (USSA-FT01).** USSA-FT01 adalah sarana laboratorium di FT-UIKA, BOGOR yang dibangun untuk mempelajari fenomena-fenomena sirkulasi alamiah. Parameter yang dipantau meliputi temperatur, tekanan, laju alir, dan level air pada tangki. Khusus pada indikator level air pada tangki, telah dibuat alat ukur jenis kontinyu yang cocok dengan berbagai keadaan. Alat tersebut dibangun dari komponen Linear Variable Differential Transformer (LVDT) sebagai penguat tegangan dan PLC sebagai unit pembacaan. Selain untuk mengetahui level level air, alat ini juga dapat digunakan sebagai sistem backup pengaturan penggunaan pemanas sehingga diperoleh efisiensi daya listrik pada pemanas. Metode yang telah dilakukan, meliputi: (1) pembuatan desain penempatan LVDT sebagai alat ukur, (2) pembuatan desain LVDT sebagai alat ukur, (3) pembuatan rangkaian penguat koil primer dan sekunder, (4) Pabrikasi bahan untuk transformator LVDT, (5) Penggulungan lilitan primer, (6) Penggulungan lilitan sekunder, (7) pengukuran resistansi koil. (8) pengintegrasian transformator dan rangkaian penguat. Karakterisasi LVDT dilakukan dengan langkah: (1) pensimulasian efek pergerakan inti, (2) eksperimen, (3) pengintegrasian LVDT dengan USSA-FT01. Tegangan di terminal keluaran 0-5 volt DC untuk diumpankan ke PLC pada masukan LIC. Tegangan terminal keluaran LIC akan di gunakan sebagai kontrol level air dengan cara mengaktifkan selenoid valve atau bahkan dapat juga digunakan sebagai sistem backup dari rangkaian kontrol pemanas. Karakteristik LVDT diperoleh: respon linier, sensitif terhadap pergerakan, dapat dipakai pada tempat basah dan mudah pabrikasinya.

**Kata Kunci :** Alat Ukur Level Air Tangki, Sistem Backup, Sistem Sirkulasi Alamiah (USSA-FT01).

## 1. PENDAHULUAN

Fenomena sirkulasi alamiah adalah fenomena yang timbul pada sistem yang dipenuhi air dengan gaya apung yang menyebabkan timbulnya sirkulasi akibat perbedaan kerapatan. Salah satu penyebab terjadinya perbedaan kerapatan tersebut karena adanya perbedaan panas (*thermosyphon loops*)[1]. Penerapan dari sirkulasi alamiah telah dikenal sejak beberapa dekade lalu, pemanfaatannya selain pada rumah tangga (*solar water heater, coffee machine*), juga pada industri (*cooling of transformer, rotating machinery*) dan bahkan pada pembangkit daya[2]. Optimalisasi pemanfaatan dari sirkulasi alamiah dalam kehidupan sehari-hari, khususnya dalam rangka penghematan energi masih dirasakan belum optimal. Sehingga penelitian terkait pemahaman dan pengembangan dari sirkulasi alamiah masih perlu dilakukan.

Rencana kegiatan terkait penelitian simulasi alamiah di Fakultas Teknik akan didahului oleh kegiatan desain dan konstruksi fasilitas uji simulasi sirkulasi alamiah. Fasilitas uji yang dimaksud adalah instalasi Untai Simulasi Sirkulasi Alamiah (USSA) dan akan menjadi fasilitas uji pertama pada Fakultas Teknik, sehingga dapat disebut sebagai "USSA-FT01". Pekerjaan desain dan konstruksi, terkait sistem instrumentasi dan kendali (*Instrumentation and Control, IC*) pada USSA-FT01 dilakukan oleh

teknik elektro. Kegiatan untuk rancang bangun IC merupakan bagian yang penting, mengingat fungsi dari IC adalah untuk mengukur dan merekam data-data yang diamati selama penelitian, selain fungsi kendali juga diperlukan untuk menetapkan batasan parameter-parameter yang akan diamati. Salah satu komponen mekanik yang mempunyai peranan penting akan diintegrasikan dengan instalasi USSA-FT01 adalah tangki ekspansi. Tangki ekspansi yang berfungsi untuk mengetahui kenaikan dan penurunan tekanan di dalam loop. Proses kenaikan dan penurunan tekanan di dalam loop sebagai indikasi adanya perubahan laju aliran di dalam tangki, hal tersebut diindikasikan dengan kenaikan dan penurunan level permukaan airnya. Jika permukaan air naik, berarti tekanan naik sedangkan jika permukaan turun berarti tekanan mengalami penurunan. Pada prinsipnya kecepatan laju aliran adalah tidak stabil, sehingga peranan pemanas diperlukan untuk menaikkan tekanan dan menurunkan tekanan. Cara pengukuran dapat dilakukan dengan banyak metode[3]: deteksi langsung (*direct sensing*), deteksi tak langsung (*indirect sensing*), pengukuran titik tunggal (*single point measurement*), deteksi Level Curahan Benda Padat (*Level Free Flowing Solid Sensing*), deteksi kontinyu (*continuous sensing*).

USSA-FT01 memerlukan alat pengukur yang kontinyu dan *online* sehingga dapat selalu

memonitor dan mengetahui level air pada tangki ekspansi. Salah satu alat pengukur jenis kontinyu yang cocok dengan berbagai keadaan dan spesifik dalam pembacaan pengukuran benda cair adalah menggunakan *Linear Variable Differential Transformer (LVDT)*, karena tegangan keluaran bersifat *analog*[4]. Selain untuk mengetahui level level air, alat ini juga dapat digunakan sebagai system *backup* pengaturan penggunaan pemanas sehingga di peroleh efisiensi daya listrik pada pemanas.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Transformator LVDT

#### 1). Perbandingan koil dan perubahan jarak

LVDT merupakan transformator yang mana intinya dapat bergerak secara vertikal. Dimana susunannya terdiri dari dua buah koil sekunder dan satu koil primer. Koil primer berada di tengah. Inti pada saat berada ditengah tengah dengan jarak yang terbagi sama rata, maka tegangan keluaran akan dapat dihitung. Besar tegangan adalah berbanding lurus dengan banyaknya koil[5], sehingga dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{N_{out}}{N_{in}} \dots\dots\dots(2.1),$$

dengan,

- $N_{in}$  = Banyaknya koil primer,
- $N_{out}$  = Banyaknya koil sekunder,
- $V_{in}$  = Besarnya tegangan primer [Volt],
- $V_{out}$  = Besarnya tegangan sekunder [Volt].

Rumus ini untuk menghitung tegangan keluaran maksimum ( $V_{out})_{mak}$  dan umum dipakai untuk perhitungan transformator, karena posisi inti tetap dan berada tepat di tengah tengah gulungan sehingga, apabila tegangan primer ( $V_{in}$ ) dicatukan pada koil primer ( $N_{in}$ ) maka fluks magnet yang ditimbulkan dapat di induksikan ke kedua koil sekunder ( $N_{out}$ ) sama besar dan sama rata, sehingga koil sekunder masing masing dapat mengasilkan tegangan keluaran ( $V_{out}$ ). Penyambungannya di seri dan ditukar salah satu ujungnya, maka arah polaritas tegangan menjadi berlawanan, sehingga tegangan keluaran ( $V_{out}$ ) adalah penjumlahan dari keduanya[4].

$$V_{out}=V_A+V_B \dots\dots\dots(2.2),$$

dengan,

- $V_{out}$  = Tegangan keluaran total [Volt],
- $V_A$  = Tegangan keluaran sekunder 1 [Volt],
- $V_B$  = Tegangan keluaran sekunder 2 [Volt],

Inti pada LVDT dipastikan akan berubah-ubah posisinya seiring dengan pergerakan permukaan fluida pada tabung reservoir. Hal ini akan sangat berpengaruh pada hasil penginduksian fluks magnet dari koil primer ke koil sekunder yang sangat bergantung pada posisi inti terhadap koil transformator pada saat itu. Inti transformator hanya dapat menginduksikan sedikit dari fluks magnet yang dihasilkan koil primer maka tegangan keluaran juga akan kecil, dan begitu sebaliknya. Dapat di katakan tegangan keluaran adalah sebanding dengan perubahan jarak pergerakan inti sampai ujung transformator. Tegangan keluaran juga dipengaruhi oleh kepekaan transformator yang dapat ditimbulkan oleh beberapa aspek, misalnya perbandingan diameter koil terhadap diameter inti, bahan bahan yang dipakai, dan lain lain. Perubahan jarak inti maka tegangan keluaran dapat dihitung dengan persamaan [4]:

$$D = MV_{out} \dots\dots\dots(2.3)$$

dengan,

- $D$  = Perbedaan jarak dari inti [mm],
- $M$  = Kepekaan dari transformator,
- $V_{out}$  = Besarnya tegangan sekunder [Volt].

Koil sekunder terdiri dari dua buah koil sekunder satu ( $V_A$ ) dan koil sekunder dua ( $V_B$ ) yang dihubungkan secara seri dengan menukar salah satu ujungnya. Dengan demikian tegangan keluarannya merupakan penjumlahan dari dua tegangan keluaran  $V_A$  dan  $V_B$ , karena salah satu ujung kawat ditukar sehingga bentuk gelombang sinusoidanya saling berlawanan yang menyebabkan tegangannya saling meniadakan. Hal ini terjadi karena polaritas tegangan induksi dipengaruhi oleh arah koil pada intinya dan polaritas arus yang mengalir pada koil, sehingga tegangan keluarannya dapat dihitung dengan persamaan[4] sebagai berikut:

$$D = M \frac{V_A - V_B}{V_A + V_B} \dots\dots\dots(2.4),$$

dengan,

- $D$  = Perbedaan jarak dari inti [mm],
- $M$  = Kepekaan dari transformator,
- $V_A$  = Besarnya tegangan sekunder satu [Volt],
- $V_B$  = Besarnya tegangan sekunder dua [Volt].

#### 2). Pemakaian kawat

Pembuatan transformator dimulai dengan penggulungan kawat email tembaga untuk koil primer dan koil sekunder. Hal-hal yang perlu di perhatikan dalam penggulungan transformator antara lain: resistansi kawat, diameter kawat dan pemadatan arus.

##### a) Resistansi kawat

Kawat yang dipakai merupakan penghantar tembaga yang di lapiasi dengan bahan isolator tipis, yang sering di kenal dengan kawat email (*enamelled wire*). Tabel data kawat tembaga yang akan di pakai seperti pada Tabel 2.1[6]. Untuk menghitung resistansi kawat dengan rumus:

$$V = I \times R \dots\dots\dots(2.5),$$

$$R = \rho \frac{l}{A} \dots\dots\dots(2.6),$$

dengan,

- $R$  = Resistansi kawat [Ohm],
- $l$  = Panjang kawat [meter],
- $\rho$  = Tahanan jenis kawat[Ohm.m],
- $A$  = Luas penampang kawat[m<sup>2</sup>].
- $V$  = Tegangan [Volt]
- $I$  = Arus [Ampere]

**b) Diameter kawat**

Penghitungan besar diameter kawat dapat dipakai rumus.

$$d_{Cu} = 1.13 \sqrt{\frac{I}{J}} \dots\dots\dots(2.7),$$

dengan,

- $d_{Cu}$  = Diameter kawat [mm],
- $I$  = Kuat arus yang mengalir[Ampere],
- $J$  = Rapat arus[Ampere/mm<sup>2</sup>].

**c) Pemasangan arus**

Pemasangan arus yaitu besarnya aliran arus listrik didalam kawat penghantar yang di izinkan. Penghitungan besar rapat arus dapat dipakai rumus.

$$J = 0,51 \sqrt{\frac{T_{maks}}{(1 + \frac{h_w}{3})h_w}} \dots\dots\dots(2.8),$$

dengan,

- $J$  = Rapat arus [Ampere/mm<sup>2</sup>],
- $h_w$  = Tinggi gulungan [mm],
- $T_{maks}$  = Temperatur yang di izinkan [°C].

**2.2 Perancangan Alat**

Metode dalam pembuatan alat pengukur level permukaan air menggunakan LVDT adalah:

1. Pembuatan desain penempatan LVDT sebagai alat ukur dengan AutoCad 2004.
2. Pembuatan desain koker LVDT sebagai alat ukur.
3. Pembuatan rangkaian penguat koil primer dan sekunder.
  - Pensimulasian rangkaian elektronik dengan skematik EAGLE 4.1.
  - Perancangan PCB dengan software EAGLE 4.1.
  - Pemasangan komponen elektronik.

4. Pabrikasi bahan untuk transformator LVDT.
5. Penggulungan koil primer.
6. Penggulungan koil sekunder.
7. Pengukuran resistansi koil.
8. Pengintegrasian transformator dan rangkaian penguat.

Karakterisasi LVDT sangat penting, karena untuk mengetahui kinerja LVDT pada saat diintegrasikan dengan USSA-FT01. Karakterisasi LVDT dilakukan dengan langkah:

1. Pensimulasian efek pergerakan inti dengan software CorelDraw 12.
2. Eksperimen:
  - Penentuan jarak,
  - Pengukuran tegangan primer,
  - Pengukuran arus primer,
  - Pengukuran tegangan sekunder,
  - Pengukuran tegangan keluaran LVDT,
  - Persentase level air pada HMI,
  - Tampilkan hasil pengukuran: tegangan primer, tegangan sekunder, arus primer, tegangan keluaran, persentase level pada HMI dengan tabel dan grafik pada excel.
3. Pengintegrasian LVDT dengan USSA-FT01:
  - Pengukuran kinerja LVDT dalam merespon pergerakan air,
  - Menampilkan data: jarak, tegangan keluaran, persentase level dalam bentuk tabel dan grafik pada excel.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

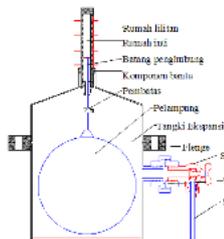
#### 3.1 Alat Pengukur Level Permukaan Air Menggunakan LVDT

##### 1) Desain penempatan LVDT sebagai alat ukur

Tangki ekspansi merupakan salah satu alat yang penting pada loop USSA-FT01. Tangki ekspansi ini dipasang LVDT yang berfungsi untuk mengukur level ketinggian air dalam tangki dan loop. Level dapat dilihat secara visual pada sisi samping tangki ekspansi dipasang tabung kaca. LVDT dipasang pada tutup tangki ekspansi bagian atas, dengan tambahan alat bantu yang disebut komponen tambahan. Komponen tambahan ini merupakan tempat kedudukan transformator LVDT dan dipasang pada sambungan pipa besi 1/2 inchi berulir 14 gang pada bagian dalamnya. Komponen tambahan dari bahan teflon, dengan alasan bahan tersebut bahan isolator sehingga tidak mempengaruhi kinerja transformator LVDT, tahan panas dan mudah pengerjaannya. Desain komponen bantu seperti pada Gambar 1 Desain penempatan LVDT sebagai alat ukur ketinggian air tangki ekspansi pada USSA-FT01 seperti pada Gambar 2.



Gambar 1 Desain komponen bantu



Gambar 2 Desain penempatan LVDT

LVDT telah dibangun menggunakan bahan-bahan antara lain: komponen tambahan, rumah inti, batang penghubung, pembatas dan pelampung. LVDT pada alat penelitian USSA-FT01 ditempatkan pada tengah-tengah tutup tangki ekspansi bagian atas. Komponen tambahan seperti pada Gambar 3. Komponen tambahan yang berfungsi sebagai penutup tangki bagian atas, sekaligus sebagai kedudukan rumah koil (koker) dan pada lubang bagian dalam digunakan sebagai batas ruang gerak inti ferit. Bagian dari komponen tambahan yang berfungsi sebagai penutup tangki adalah ulir 1/2 inchi x 14 gang seperti pada Gambar 4, sehingga rangkaian loop bekerja secara close system. Komponen tambahan tersebut dibuat bahan teflon, berbentuk tabung,

diameter luar 19 mm dan diameter dalam 13 mm, pada salah satu ujungnya terdapat ulir 1/2 x 14 gang seperti yang telah dijelaskan dengan panjang 25 mm, terdapat cincin pembatas tebal 5 mm untuk batas tutup tangki. Panjang total 170 mm. Dipilih bahan teflon karena termasuk bahan isolator, sehingga fluks magnet yang dihasilkan oleh inti tidak menyebar ke badan tangki reservoir.



Gambar 3 Bentuk komponen tambahan



Gambar 4 Ulir 1/2 x 14 gang sebagai penutup atas tangki ekspansi

Inti ferit dengan ukuran diameter 9.8 mm, berat 14 gram dan panjang 4.5 cm. Inti ferit tersebut ditempatkan dalam tabung rumah inti yang terbuat dari teflon dengan diameter luar 12 mm diameter dalam 10 mm, panjang 8 cm, dan di salah satu sisinya terdapat ulir M6. Ulir M6 berfungsi sebagai tempat untuk menyambungkan batang penghubung. Bentuk rumah inti seperti pada Gambar 5.



Gambar 5 Bentuk rumah inti ferit

Batang penghubung dibuat berbahan stainless steel dengan panjang 35 cm berdiameter 6 mm dan berulir M6 pada setiap ujungnya. Salah satu ulir dibuat lebih panjang agar dapat digunakan untuk penyetelan ketinggian pelampung. Batang penghubung tersebut berfungsi juga sebagai pelurus gerakan rumah inti dan pelampung. Batang penghubung seperti pada Gambar 6.



Gambar 6 Bentuk batang penghubung

Pembatas atau stopper ditempatkan pada batang penghubung, guna membatasi pergerakan inti ferit maksimum ke atas, di mana batas nilai bawah adalah 0 volt dan nilai atas 5 volt. Pembatas ini hanya digunakan untuk membatasi pergerakan maksimum ke atas. Batasan maksimum bawah adalah dengan mengatur posisi koil sekunder bagian bawahnya.

Bentuk pembatas seperti pada Gambar 7 dan penempatan pembatas seperti pada Gambar 8.



Gambar 7 Bentuk pembatas



Gambar 8 Bentuk batang penghubung dan penempatan pembatas

Pelampung berbentuk bola dengan diameter 10 cm, berbahan plastik, pada bagian atas terdapat lubang ulir M6 yang terbuat dari kuningan. Ulir M6 berfungsi untuk pemasangan batang penghubung, sehingga antara rumah inti dan pelampung menjadi satu kesatuan. Pelampung ini akan bergerak mengikuti pergerakan air dalam tangki dan sekaligus inti ferit juga akan mengikutinya. Bentuk pelampung seperti pada Gambar 9.



Gambar 9 Bentuk pelampung

Rumah inti beratnya lebih ringan dibandingkan dengan pelampung sehingga pergerakan air dalam tangki sekecil apapun akan dapat terukur oleh LVDT, sehingga dapat dikatakan LVDT ini sangat sensitif terhadap pergerakan naik turun air dalam tangki. Penempatan komponen tambahan seperti pada Gambar 10 Pemasangan batang penghubung dan pelampung seperti pada Gambar 11.



Gambar 10 Penempatan komponen tambahan

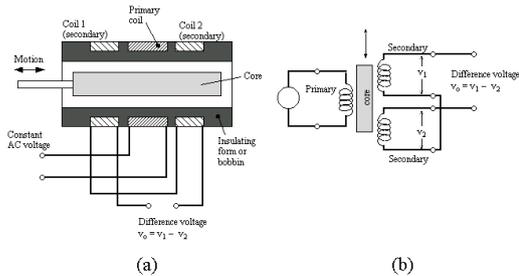


Gambar 11 Pemasangan batang penghubung dan pelampung

## 2) Desain LVDT sebagai alat ukur

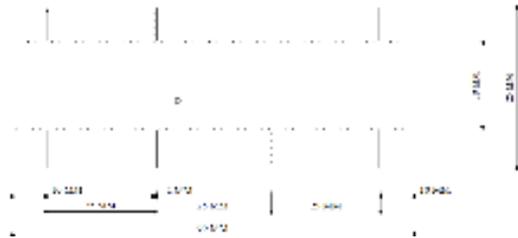
LVDT digunakan untuk pengukuran pergerakan dan perubahan yang linier dari suatu obyek. LVDT terdiri atas suatu batang inti ferit yg bergerak dan satu set koil, satu koil primer dan dua koil sekunder. Batang dihubungkan ke suatu obyek cairan dan suatu medan magnet AC diinduksikan oleh koil primer. Bila posisi inti di tengah tengah, fluks maknet yang dihasilkan di koil primer diinduksikan sama besar pada dua koil sekunder. Perbedaan tegangan di koil sekunder adalah nol. Batang dapat bergerak menjauhi pusat, maka lebih banyak fluks maknetis diinduksikan ke salah satu koil sekunder, ini mengakibatkan terjadinya perbedaan tegangan yang tidak nol. Mengenai polaritas dan besar dari tegangan, posisi dari batang inti dapat ditentukan.

LVDT terdiri dari tiga koil yang penampangnya seperti pada Gambar 12 dan diagram rangkaian LVDT seperti pada Gambar 13 Koil primer yang berada di tengah disuplai tegangan 1-10 VAC dengan frekuensi antara 1 sampai 20 kHz, dua koil sekunder adalah identik, dengan arah gulungan berlawanan dan disambungkan secara seri atau paralel. Koil jika digerakkan dengan arah yang berlawanan maka sinyal sinusoida yang diinduksikan akan berubah. Pemilihan ukuran koil yang memungkinkan memperoleh presentasi linieritas yang lebih bagus dalam pergerakan lebih dari 20 mm.



Gambar 12 (a) Penampang *Linear Variable Differential Transformer (LVDT)*, Gambar 13 (b) Diagram rangkaian untuk LVDT

Bentuk nyata *LVDT* menyesuaikan dengan bentuk komponen tambahan. Rumah koil atau koker digunakan rumah koil primer dan koil sekunder, yang terbuat dari bahan pipa pralon PVC, diameter pipa yang dipakai 19 mm, panjang 9 cm dan cincin pembatas koil diameter 25 mm. Rumah koil seperti pada Gambar 14. Bentuk jadi rumah koil seperti pada Gambar 15.



Gambar 14 Desain rumah koil



Gambar 15 Bentuk jadi rumah koil

### 3) Pabrikasi bahan untuk transformator *LVDT*.

Jumlah koil primer dapat di hitung dengan persamaan 2.5 dan 2.6 di atas. Asumsi menggunakan arus maksimum yang mengalir dalam rangkaian *push-pull* sebesar 200 mA, data tersebut diperoleh dari data *sheet* transistor 2N 3904 dan 2N 3906. Tabel data *sheet* kawat yang dipakai yaitu Ø0.20 mm, arus nominalnya 0.61 mA. Perbandingan arus yang tersedia dengan arus pemakaian terdapat jauh perbedaan, sehingga diharapkan tidak terjadi drop tegangan pada saat koil primer disambungkan. Mengacu dari persamaan tersebut 2.5 didapat:

$$R = \frac{V}{I} ; R = \frac{1.136 \text{ V}}{0.061 \text{ A}} ; R = 18.6 \Omega .$$

Nilai tahanan dari perhitungan teoritis adalah tahanan pada kawat tembaga yang murni tanpa campuran, sehingga dapat dihitung panjang kawat sebenarnya yang dipergunakan dalam koil primer. Panjang kawat dapat dicari dengan menggunakan rumus 2.6:

$$I = \frac{R \times \rho}{A} , \text{ di mana } \rho = 1.72 \times 10^{-8} \text{ dan } A = 3.14 \times 10^{-8} \text{ sehingga didapat,}$$

$$I = \frac{18.6 \times 3.14 \times 10^{-8}}{1.72 \times 10^{-8}} ; I = \frac{5.8404 \times 10^{-8}}{1.72 \times 10^{-8}} ; I = 33.95$$

meter.

Diameter rata rata koker ( $d_k$ ) = 23.5mm, sehingga keliling koker rata rata ( $K_k$ ) = 70.68 centimeter.

$$\text{Jumlah koil primer } (N_1) = \frac{l}{K_k} ; (N_1) = \frac{33950}{70.68} ; (N_1) = 480.33 \text{ koil (480 koil, pembulatan).}$$

Menggunakan *data sheet* kawat tembaga maka dapat dicari tahanan jenis ( $\rho$ ) kawat tembaga yang dipakai dapat dihitung:

$$\rho = \frac{0.4509 \times 3.14 \times 10^{-8}}{1} ; \rho = 1.4 \times 10^{-8} \Omega \text{m.}$$

Nilai resistansi kawat yang dipakai,

$$R = \frac{42.408 \times 1.4 \times 10^{-8}}{3.14 \times 10^{-8}} ; R = 18.9 \Omega$$

### 4) Pengintegrasian transformator *LVDT* dengan rangkaian penguat

Pengintegrasian transformator dan rangkaian penguat telah dilakukan, dengan demikian sudah diperoleh unit *LVDT* sebagai alat pengukur ketinggian air. Perhitungan jumlah koilnya juga sudah disesuaikan dengan hasil perhitungan. Tegangan yang di kehendaki 0-5 VDC untuk diumpankan ke PLC pada masukan LIC. Tegangan terminal keluaran LIC akan digunakan sebagai kontrol *solenoid valve* atau bahkan dapat juga digunakan sebagai picu dari rangkaian kontrol pemanas. Tegangan keluaran bergantung sekali kepada ketinggian air dalam tangki reservoir pada saat itu. Seting tegangan keluaran dapat dilakukan secara manual. Keluaran tegangan minimum dapat diperoleh dengan penempatan posisi koker terbawah dan hasil pengukurannya harus menunjukkan nilai 0 volt. Keluaran tegangan maksimum diperoleh dengan mengatur ketinggian pembatas yang berada pada stik pelurus dan hasil pengukurannya harus menunjukkan nilai 5 volt. Pengintegrasian transformator dan rangkaian penguat primer dan sekunder seperti pada Gambar 16.



Gambar 16 Pengintegrasian transformator dan rangkaian penguat

### 3.2 Karakterisasi *LVDT*

#### 1) Eksperimen

Eksperimen dilakukan dengan cara *LVDT* ditempatkan pada tempat yang sebenarnya namun tidak diintegrasikan dengan USSA-FT01.

Pelampung berada di luar dan dapat digerakkan secara manual, artinya tanpa air. Alat-alat yang digunakan: *displacementmeter digital*, *multimeter* standar, panel HMI. Pengukuran yang dilakukan antara lain: perubahan jarak inti (D), perubahan tegangan primer (Vp), perubahan arus primer (Ip), perubahan tegangan sekunder (Vs), perubahan tegangan keluaran dari LVDT (Vout), dan penunjukkan persentase level pada displai HMI.

**a) Pengukuran tegangan primer**

Tegangan primer (Vp) adalah tegangan keluaran dari rangkaian *push pull*, flukstuasi tegangan pada saat diberi beban koil primer. Besaran tegangan primer yang bergantung pada posisi inti pada saat dilakukan pengukuran perubahan jarak. Sampel tegangan yang diambil sesuai jarak posisi inti seperti yang dijelaskan di atas. Pengukuran tegangan primer dilakukan dengan alat ukur *multimeter* standar. Hasil pengukuran tegangan primer (Vp) seperti pada Tabel 1.

**Tabel 1** Pengukuran tegangan primer (Vp)

Jarak Inti (D) [mm]	Tegangan Primer (Vp) [V]
0	1.146
12	1.834
24	1.311

**b) Pengukuran arus primer**

Arus primer (Ip) adalah arus keluaran dari rangkaian *push pull*, flukstuasi arus pada saat diberi beban koil primer. Besaran arus primer yang bergantung pada posisi inti pada saat dilakukan pengukuran perubahan jarak. Pengukuran arus primer dilakukan dengan alat ukur *multimeter* standar. Sampel arus yang diambil sesuai posisi inti seperti yang dijelaskan di atas. Hasil pengukuran arus primer (Ip) seperti ditunjukkan Tabel 2.

**Tabel 2** Pengukuran arus primer Ip

Jarak Inti (D) [mm]	Arus Primer (Ip) [mA]
0	12.32
12	10.48
24	10.60

**c) Pengukuran tegangan sekunder**

Tegangan sekunder (Vs) adalah tegangan yang keluar dari koil sekunder 1 (Vs<sub>1</sub>) dan sekunder 2 (Vs<sub>2</sub>) dari transformator LVDT, perubahan tegangan seiring dengan perubahan jarak inti. Pengukuran tegangan sekunder dilakukan dengan alat ukur *multimeter* standar pada kedua ujung keluaran

transformator. Sampel tegangan yang diambil sesuai posisi inti seperti yang dijelaskan di atas. Hasil perubahan nilai tegangan sekunder (Vs<sub>1</sub>) dan (Vs<sub>2</sub>) seperti ditunjukkan Tabel 3.

**Tabel 3** Pengukuran tegangan sekunder (Vs<sub>1</sub>) dan (Vs<sub>2</sub>)

Jarak Inti (D) [mm]	Tegangan Sekunder (Vs <sub>1</sub> ) [mV]	Tegangan Sekunder (Vs <sub>2</sub> ) [mV]
0	652	200
12	597	317
24	400	549

**d) Pengukuran tegangan keluaran LVDT (Vout)**

Tegangan keluaran LVDT (Vout) adalah tegangan keluaran dari rangkaian penguat yang bersifat DC, perubahan tegangan seiring dengan perubahan jarak inti. Pengukuran tegangan keluaran LVDT dilakukan dengan alat ukur *multimeter* standar. Sampel tegangan yang diambil sesuai posisi inti seperti yang dijelaskan di atas. Hasil pengukuran tegangan keluaran LVDT (Vout) seperti pada Tabel 4.

**Tabel 4** Pengukuran tegangan keluaran LVDT (Vout)

Jarak Inti (D) [mm]	Tegangan Keluaan (V <sub>out</sub> ) [V] DC
0	0.040
12	1.834
24	4.739

**e) Displai persentase level HMI**

Displai HMI dapat untuk melihat persentase level pada tangki ekspansi. Tegangan keluaran dari LVDT diumpankan ke *analog input* PLC, dan diolah oleh komparator LIC sehingga menjadi bentuk persentase yang ditampilkan pada HMI. Persentase level ditampilkan oleh panel HMI, setelah di olah PLC pada bagian komparator LIC. Sampel persentase yang diambil sesuai posisi inti seperti yang dijelaskan di atas. Hasil pengukuran displai persentase level seperti pada Tabel 5.

**Tabel 5** Displai persentase level

Jarak Inti (D) [mm]	Displai Level [%]
0	0.40
12	37.6
24	99.9

**f) Menampilkan hasil pengukuran manual dalam bentuk tabel**

Hasil pengukuran respon *LVDT* yang meliputi: arus primer ( $I_p$ ), tegangan primer ( $V_p$ ), tegangan sekunder ( $V_{s1}$ ) dan ( $V_{s2}$ ), tegangan keluaran *LVDT* ( $V_{out}$ ) dan persentase level pada HMI, seperti pada Tabel 6a dan respon *LVDT* arah naik seperti pada Tabel 6b.

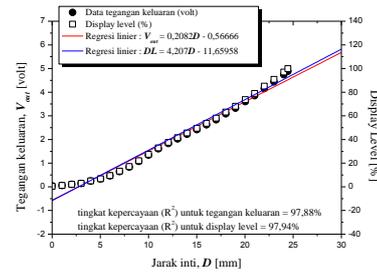
**Tabel 6a.** Respon *LVDT* secara manual turun

INTEGRASI <i>LVDT</i> DAN USSA-FT01						
Jarak Inti (D) [mm]	Arus Primer ( $I_p$ ) [mA]	Tegangan Sekunder ( $V_{s1}$ ) [mV]	Tegangan Sekunder ( $V_{s2}$ ) [mV]	Tegangan Primer ( $V_p$ ) [V]	Tegangan Keluaran ( $V_{out}$ ) [V]	Displai Level [%]
24.42	11.10	395	577	1.347	4.935	100.2
23.42	10.98	416	565	1.357	4.658	94.8
22.40	10.87	436	544	1.354	4.342	88.4
21.41	10.71	450	525	1.347	4.070	83.0
20.42	10.65	470	505	1.346	3.790	77.3
19.42	10.58	485	488	1.340	3.569	72.7
18.42	10.56	504	467	1.340	3.295	67.1
17.43	10.53	522	445	1.335	3.042	61.9
16.40	10.54	542	423	1.330	2.803	57.0
15.44	10.57	558	404	1.325	2.600	52.9
14.40	10.63	577	383	1.320	2.391	48.6
13.40	10.53	583	359	1.296	2.216	45.0
12.41	10.64	597	340	1.289	2.018	41.0
11.40	10.79	615	324	1.289	1.807	36.6
10.41	10.92	627	308	1.280	1.583	32.1
9.42	11.11	639	292	1.273	1.350	27.4
8.42	11.32	651	278	1.266	1.109	22.4
7.42	11.52	659	265	1.256	0.870	17.4
6.40	11.76	665	252	1.242	0.644	13.0
5.40	12.09	672	242	1.236	0.470	9.4
4.41	12.32	670	231	1.214	0.320	6.4
3.41	12.32	672	223	1.203	0.203	4.0
2.42	12.32	670	216	1.190	0.130	2.4
1.42	12.32	666	209	1.174	0.074	1.4
0.42	12.32	660	205	1.160	0.060	1.0
0.00	12.32	652	200	1.146	0.040	0.4

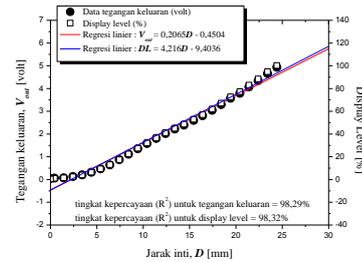
**Tabel 6b.** Respon *LVDT* secara manual naik

INTEGRASI <i>LVDT</i> DAN USSA-FT01						
Jarak Inti (D) [mm]	Arus Primer ( $I_p$ ) [mA]	Tegangan Sekunder ( $V_{s1}$ ) [mV]	Tegangan Sekunder ( $V_{s2}$ ) [mV]	Tegangan Primer ( $V_p$ ) [V]	Tegangan Keluaran ( $V_{out}$ ) [V]	Displai Level [%]
0.00	12.32	652	200	1.146	0.040	0.4
1.03	12.32	643	198	1.149	0.055	1.1
2.04	11.28	655	206	1.152	0.104	2.1
3.01	11.22	658	211	1.165	0.141	2.9
4.01	11.16	660	219	1.181	0.243	5.0
5.02	11.08	658	225	1.192	0.333	6.8
6.01	11.02	653	236	1.209	0.462	9.5
7.00	10.84	651	244	1.210	0.644	13.2
8.00	10.79	641	255	1.223	0.834	17.1
9.00	10.73	632	272	1.233	1.075	22.0
10.00	10.68	622	284	1.240	1.343	27.5
11.02	10.61	610	299	1.247	1.608	32.9
12.06	10.48	597	317	1.255	1.834	37.6
13.02	10.38	584	331	1.262	2.025	41.5
14.00	10.38	578	354	1.283	2.222	45.5
15.01	10.37	564	370	1.289	2.416	49.5
16.02	10.29	546	392	1.295	2.621	53.7
17.01	10.28	528	411	1.295	2.833	58.0
18.02	10.26	504	432	1.296	3.085	63.2
19.02	10.21	487	451	1.297	3.325	68.1
20.04	10.29	468	475	1.307	3.599	73.7
21.00	10.35	456	492	1.310	3.851	78.9
22.01	10.43	436	514	1.313	4.154	85.1
23.01	10.49	419	529	1.307	4.436	90.8
24.03	10.60	400	549	1.311	4.739	97.0
24.46	10.64	392	555	1.310	4.880	99.9

Tabel di atas dapat dibentuk kurva untuk melihat respon terhadap pergerakan air dapat dikatakan linier seperti pada Gambar 17 dan Gambar 18.



**Gambar 17** Kurva respon *LVDT* secara manual turun



**Gambar 18** Kurva respon *LVDT* secara manual naik

## 2) Pengintegrasian *LVDT* dan tangki ekspansi pada USSA-FT01

Pengintegrasian *LVDT* dan tangki ekspansi dengan cara rumah koil dimasukkan ke komponen tambahan yang telah terpasang ditutup tangki ekspansi. Pengukuran respon *LVDT* sebagai alat ukur level air sudah dapat dilakukan. Pengintegrasian *LVDT* dengan tangki ekspansi USSA-FT01 seperti pada Gambar 19.



**Gambar 19** Penempatan *LVDT* sebagai alat ukur

### a. Menampilkan data respon *LVDT* terhadap pergerakan air tangki

Sampel yang diambil menggunakan *multimeter* standar terdiri dari batas terendah dan batas tertinggi. Tegangan keluaran ini akan diumpankan ke *input analog* pada PLC dan diolah pada komparator LIC, di mana *input* yang berupa tegangan DC diubah menjadi nilai persentase level yang kemudian ditampilkan dengan panel HMI. Hasil pengukuran kinerja respon *LVDT* seperti pada Tabel 7. dan Gambar 20 Tanda minus (-) pada tabel

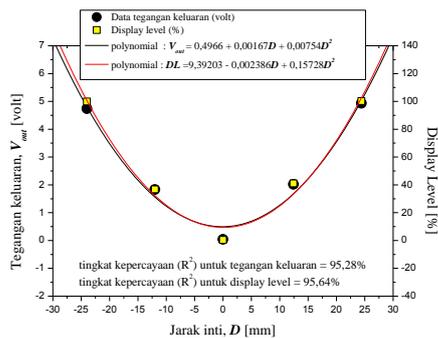
hanya indikasi yang menyatakan pergerakan ke bawah.

dibutuhkan *input analog* pada PLC yang terpasang pada USSA-FT01.

**Tabel 7** Respon *LVDT* ketinggian permukaan air turun dan naik

Jarak Inti (D) [mm]	Tegangan Keluaran (V <sub>out</sub> ) [V] DC	Displai Level [%]
24.42	2.935	100.2
12.41	2.018	41.0
0	0.040	0.4
-12	1.834	36.7
-24	4.739	99.9

Tabel di atas dapat dibentuk dengan kurva untuk melihat respon terhadap pergerakan air seperti pada Gambar 20.



**Gambar 20** Kurva respon *LVDT* terhadap level air

#### 4. KESIMPULAN

Mengacu pada data percobaan dan hasil bahasan, maka dapat ditarik kesimpulan seperti berikut:

Diperoleh alat pengukur level dan sistem *backup* pengendali pemanas berdasarkan level permukaan air tangki ekspansi menggunakan *LVDT*, yang dibangun terdiri dari: komponen tambahan, rumah koil, rumah inti, batang penghubung, pembatas, pelampung, koil primer dan sekunder, dan rangkaian penguat. Koil primer dan koil sekunder dibangun dengan kawat email tembaga Ø20 mm, jumlah koil primer 600 gulungan dengan resistansi 17.8Ω, koil sekunder 480 dengan resistansi 16.8Ω, kisaran kerja pada tegangan 1.136 VAC, frekuensi 1 kHz, kuat arus 10.64-12.32 mA, tegangan keluaran 0-5 VDC. Diperoleh karakteristik *LVDT* yang linier, sensitif terhadap pergerakan air, sederhana dan murah. Kisaran kerja pada jarak 0-24 mm, persentase penunjukan level 0-100%, tegangan keluaran bersifat analog sehingga dapat dipergunakan sebagai kontrol yang bersifat kontinu, besar tegangan keluaran 0-5 volt yang sesuai dengan kisaran yang

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] J Dobson, RT, Rupperberg, JC, *Flow And Heat Transfer In A Closed Loop Thermosyphon Part II – Experimental Simulation*, Journal of Energy in Southern Africa, Vol. 18, No.3, Agustus 2007.
- [2] Bolaji, Bukola O., *Flow Design and Collector Performance of A Natural Circulation Solar Water Heater*, Department of Mechanical Engineering, Federal University of Technology, P. M. B. 704, Akure [Nigeria], 2006.
- [3] Dunn, William C., *Introduction To Instrumentation, Sensors, And Process Control. (Artech House Sensors Library)*, New York, 1985.
- [4] [http://www.macrosensors.com/lvdt\\_macro\\_sensors/lvdt\\_tutorial/index.html](http://www.macrosensors.com/lvdt_macro_sensors/lvdt_tutorial/index.html); [www.ee.unb.ca.../lvdt-operation-animation.gif](http://www.ee.unb.ca.../lvdt-operation-animation.gif).
- [5] Walt Boyes, *Library of Congress Cataloging-in-Publication Data Instrumentation reference book.-3rd*, New York, 1987.
- [6] Frederick W, Grover, *Inductance Calculations*, Dover Publications, New York, 1952
- [7] Vishay Intertechnology Inc, *Audio Noise Reduction Through the Use of Bulk Metal® Foil Resistor "Hear the Difference"*. <http://www.c-c-i.com/sites/default/files/vse-an00.pdf>, Vincihay Intertechnology Inc , 2005.
- [8] Oklilas, Ahmad Fali, *Bahan Ajar Elektronika Dasar*, Program Diploma Komputer Universitas Sriwijaya, Palembang, 2007.