

Prototipe Automatic Tank Gauging Optik untuk Pengukuran Level Fluida Statik

Haryomukti Sulistyono, Febri F. Akbar

Program Studi Metrologi dan Instrumentasi, Fakultas Teknologi Industri,

Institut Teknologi Bandung

Jalan Ganesha No. 10 Bandung

23haryo@gmail.com

febrifaizalakar@gmail.com

Abstrak

Kebutuhan otomasi pengukuran level fluida cair saat ini meningkat pesat, hal tersebut disebabkan oleh kurang efektifnya pengukuran level secara manual seperti *dipping*, yang sering digunakan oleh para pelaku industri. Instrumen pengukuran level otomatis yang telah banyak digunakan saat ini adalah ATG (*Automatic Tank Gauging*). Tetapi, penggunaan instrumen level ini masih terbatas disebabkan harga dan *maintenance* instrumen yang relatif mahal. Dalam menjawab tantangan tersebut, pada penelitian ini dibuatlah *Automatic Tank Gauging* (ATG) optik, yang merupakan prototipe instrumen pengukuran level menggunakan peran sensor optik.

Instrumen ini menggunakan motor stepper untuk menggerakkan secara vertikal sarang sensor. Pemancar laser dan photodiode yang berada di dalam sarang sensor bekerja dengan memberikan nilai perbedaan intensitas cahaya yang diterima ketika sarang sensor berada di udara maupun ketika sarang sensor berada di dalam fluida. Di udara, photodiode memberikan tegangan keluaran pada rentang 732 mV-879 mV. Sedangkan, tegangan keluaran photodiode ketika sarang sensor masuk ke dalam air berada pada rentang 390 mV- 488 mV. Dengan batasan rentang tegangan tersebut, apabila sensor tepat masuk ke dalam fluida, mikrokontroler akan menghentikan kerja motor stepper dan mengkonversi jumlah step yang diberikan motor menjadi nilai level permukaan fluida terhadap titik tertinggi tangki (TT) yang telah ditentukan sebelumnya.

Kata Kunci: ATG, motor stepper, sarang sensor, photodiode dan pemancar laser, level, akurasi presisi, linieritas

Abstract

The needs of automation in fluid level measurement are increasing due to ineffectiveness of manual measurement such as *dipping*. Automatic tank gauging is an automatic level measurement that frequently used by industries. However, the price and maintenance cost for ATG relatively high. In this study, a prototype of Optic Automatic Tank Gauging was developed employing optical sensor. Motor stepper was used to move the optical sensor shell vertically. Laser transmitter and photodiode inside the sensor shell have difference light intensity inside or outside the liquid. Light intensity range in the air is 390mV-488mV. Microcontroller would stop the motor stepper and calculate motor stepper number of steps if optical sensor have reached air-liquid boundary. Numbers of steps were converted into value of liquid level boundary.

Keyword: Automatic Tank Gauging, motor stepper, sensor shell, photodiode, laser transmitter, level, accuracy, precision, linearity.

1 Pendahuluan

Sampai dengan tahun 2014, *Automatic Tank Gauging* (ATG) tipe servo merupakan salah satu instrumen pengukur level otomatis yang telah diakui memiliki tingkat akurasi dan presisi baik. Berdasarkan Undang-Undang Metrologi Legal No 2 tahun 1985, ATG tipe servo dapat diklasifikasi sebagai salah satu alat UTTP (Ukur, Takar Timbang dan Perlengkapannya) yang wajib dikalibrasi oleh Direktorat Metrologi Indonesia. Proses pengujian dan penggunaan ATG servo secara umum telah diatur pada SK Dirjen PDN No. 32 tahun 2010 tentang Syarat Teknis Instrumen Panjang. Dengan demikian ATG servo dapat dikatakan sebagai instrumen level otomatis handal dan telah memiliki kejelasan hukum yang dapat dipertanggungjawabkan. Tetapi, hanya sedikit dari para pelaku industri yang menggunakan fungsi ATG servo dalam kegiatan *custody transfer*. Hal ini disebabkan oleh harga ATG servo yang cukup mahal dan terbatasnya sumber daya manusia yang dapat mengoperasikan instrumen tersebut (Hidayat, 2011).

ATG tipe servo bekerja dalam mengukur level fluida cair dengan memanfaatkan peran perhitungan putaran motor servo dalam menaik-turunkan bandul dari posisinya di udara ke dalam fluida yang diukur. Untuk itu, ATG servo menggunakan peran bandul berdensitas tertentu sebagai elemen pengukur pertama yang terhubung dengan transduser tegangan melalui *sling wire*. Penelitian pembuatan sistem penggerak bandul untuk pengukuran level cairan sebelumnya dilakukan oleh Gustiani, W dan Triyono (2013).

Tingginya harga ATG servo mengindikasikan bahwa sistem mekanik dan elektrik instrumen ini memiliki tingkat presisi dan akurasi yang tinggi, serta rumit dalam proses produksi. Dengan adanya fakta tersebut, tidak sedikit dari para pelaku industri fluida cair yang memilih jalan keluar dengan mengoptimalkan penggunaan instrumen *dipstick*. Sedangkan, penggunaan instrumen *dipstick* masih dinilai memiliki kekurangan yang dapat berakibat fatal pada pengujian akurasi dan presisi instrumen. Hal tersebut disebabkan oleh proses pemantauan level yang dilakukan secara manual, sehingga berpotensi mengakibatkan munculnya kesalahan *parallax*. Oleh karena itu, diperlukan metode pengukuran level otomatis yang ekonomis dan dapat meminimalkan resiko munculnya kesalahan *parallax*. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah pemanfaatan sensor optik sebagai pengganti sistem pengukuran oleh bandul dan sensor tegangan pada ATG servo.

2 Teori dasar

2.1 Cahaya

Di dalam dunia fisika terdapat dualisme cahaya, yaitu cahaya sebagai gelombang serta cahaya sebagai partikel. Pada penelitian ini cahaya dianggap sebagai suatu partikel dimana apabila suatu cahaya/sinar dilewatkan pada suatu medium maka berkas cahaya tersebut akan mengalami peristiwa pembiasan, pemantulan serta absorpsi. Besarnya absorpsi cahaya tergantung pada sifat serta karakteristik medium dimana cahaya/sinar dilewatkan, atau dengan kata lain medium yang berbeda akan menghasilkan absorpsi yang berbeda juga. Salah satu karakteristik cahaya yang dapat diukur adalah intensitas cahaya tersebut, dimana apabila terjadi absorpsi cahaya yang dikarenakan cahaya tersebut melewati suatu medium maka intensitas cahaya tersebut akan berkurang. Sehingga akan muncul perbedaan intensitas cahaya sebelum cahaya tersebut melewati suatu medium serta setelah melewati medium tertentu. Pada penelitian ini medium yang digunakan adalah fluida dengan warna bervariasi, intensitas

cahaya laser yang telah melewati fluida diukur menggunakan sensor photodiode dimana pembacaan intensitas cahaya oleh photodiode dijadikan sebagai set point untuk mengetahui jenis fluida yang dilewati berkas cahaya tersebut.

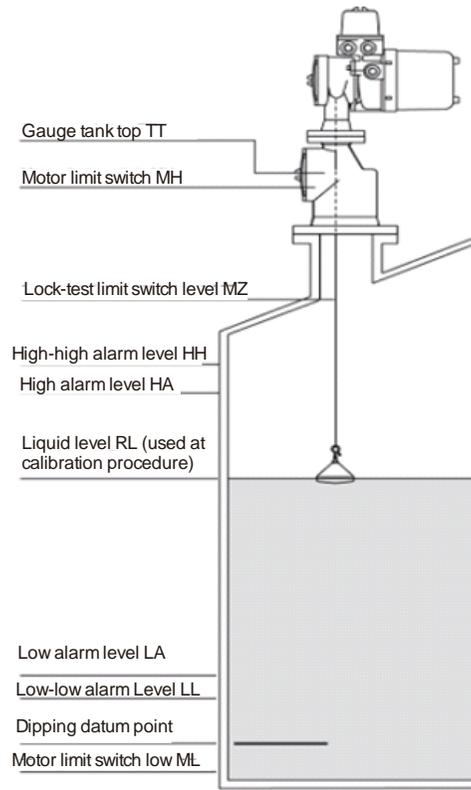
2.2 ATG (*Automatic Tank Gauging*)

Instrumen pengukur level otomatis atau yang sering disebut dengan ATG (*Automatic Tank Gauging*) merupakan sebuah instrumen ukur level yang sering dioperasikan pada kegiatan pengukuran di dalam skala industri.

ATG merupakan instrumen level otomatis yang berfungsi memantau level fluida selama periode waktu tertentu. ATG dapat memberikan informasi level secara langsung dalam satuan ukur panjang. Selain itu ATG dapat memberikan semua informasi penting tentang keadaan tangki seperti: volume fluida di dalam tangki, suhu di dalam tangki dan alarm peringatan level tangki saat permukaan fluida *LOW* dan *HIGH*. Prinsip kerja ATG didasarkan pada pendeteksian variasi gaya apung bandul. Bandul terdiri dari *sling-wire* pengukuran yang kuat dan fleksibel, yang disimpan di drum pengukur yang merupakan tempat lilitan *sling-wire*. Poros drum dihubungkan dengan *stepper motor* melalui kopling magnetik.

Berat bandul diukur oleh *force transducer*. Keluaran aktual *force transducer* dibandingkan dengan berat bandul yang diharapkan (*preset*). Jika terdapat perbedaan antara nilai terukur dengan nilai yang diharapkan, sebuah modul *software* kontrol melakukan penyesuaian posisi motor stepper.

Secara umum, bagian-bagian kerja ATG dapat ditunjukkan oleh Gambar 1.

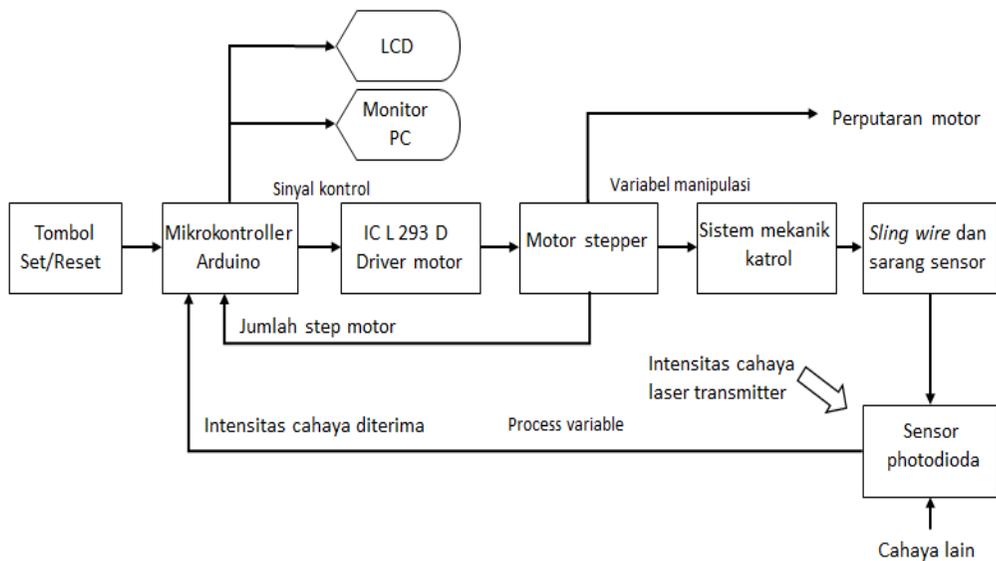


Gambar 1 Skema Pengukuran Level oleh ATG

Instrumen ini setidaknya terdiri atas sensor level, *transducer* gaya dan sebuah perangkat untuk penunjukan level.

3 Perancangan system

Prototipe pada penelitian ini merupakan ATG (*Automatic Tank Gauging*) optik yang dirancang untuk melaksanakan pengukuran level fluida di dalam suatu tangki penyimpanan. Sistem ini menggunakan mikrokontroler sebagai otak dalam mengatur pergerakan motor stepper melalui IC L293D motor driver. Motor stepper yang terhubung dengan sistem mekanik katrol akan menggerakkan wadah sensor menuju permukaan fluida uji. Pancaran gelombang cahaya laser pada saat di udara bebas dan ketika menyentuh permukaan fluida diterima oleh sensor cahaya berupa photodiode. Sinyal masukan photodiode tersebut kemudian diakuisisi oleh mikrokontroler untuk melaksanakan fungsinya dalam mengatur perputaran motor stepper. Prinsip kerja sistem secara singkat dapat ditunjukkan oleh blok diagram pada Gambar 2.



Gambar 2 Prinsip kerja sistem

Sarang sensor yang berisi photodioda dan laser digerakkan secara vertikal terhadap titik referensi awalnya oleh sistem katrol. Di saat cahaya laser di sarang sensor menembus fluida, sinyal yang diterima oleh photodioda nilainya berbeda dengan keadaan saat di udara. Dengan kata lain, pengukuran mendapatkan rentang intensitas sinar di dalam media fluida, sehingga mikrokontroller memperoleh informasi untuk menghentikan motor stepper

Pada sistem pengukuran ini, hasil pergerakan motor dikonversi menjadi level dan ditampilkan melalui 2 metode tampilan berbeda, yaitu LCD dan antarmuka pada PC.

4 Implementasi Prototipe

4.1 Bagian bagian prototipe

Prototype pada penelitian ini, ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Bagian –bagian prototipe

Keterangan dari bagian-bagian konstruksi alat sebagai berikut.

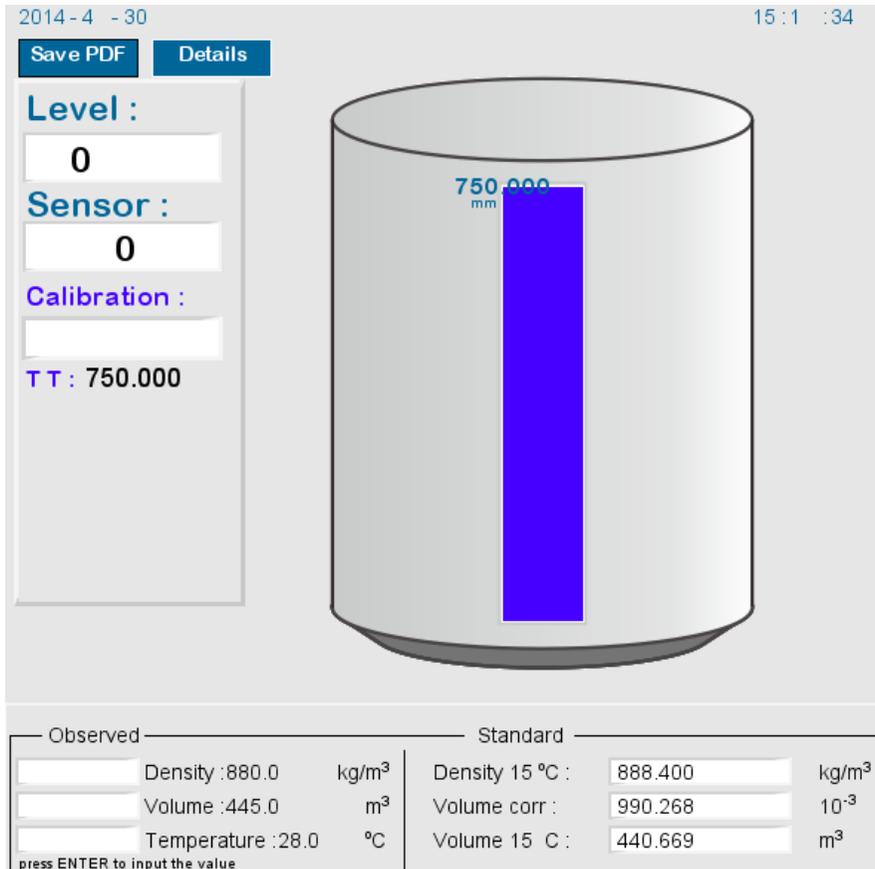
1. Motor stepper berfungsi sebagai penggerak utama sistem pengukuran. Motor DC jenis stepper ini merotasikan porosnya dengan kecepatan 10 rpm. Diharapkan dengan kecepatan yang tidak terlalu besar, poros motor dapat bergerak dengan halus. Dalam pemrograman perangkat lunak Arduino, motor stepper diatur untuk bergerak sejumlah 200 step per revolusi agar mendekati nilai ketelitian mendekati 1 mm.
2. Dudukan pulley dan motor stepper berfungsi sebagai penyangga katrol yang telah dilengkapi dengan *bearing* beserta motor stepper yang terkunci di sisinya. Dudukan ini berbahan baja berat dengan masa 5 kg. Pemilihan bahan ini ditujukan untuk memberikan redaman pada getaran motor stepper yang dapat menggeser posisi dudukan. Dudukan ini memiliki celah untuk pergerakan poros motor stepper dan katrol.
3. Pengunci katrol berupa poros setebal 30 mm yang terhubung pada bearing katrol dan lubang dudukan baja. Pengunci ini dilengkapi oleh mur berdiameter 32 mm. Fungsi komponen ini adalah untuk mengunci katrol agar tetap berada pada jalur putarnya di dalam celah dudukan mekanik.

4. Wadah sensor berfungsi sebagai wadah penempatan sensor dan transmitter laser beserta perkabelannya. Dengan bahan yang kedap air ini, tidak ada air yang dapat merembes ke dalam dan merusak kelistrikan sensor.
5. Sling wire dengan tebal 2 mm berfungsi sebagai penghubung katrol dengan wadah sensor yang digunakan dalam proses menaikkan dan menurunkan posisi wadah sensor
6. *Lilypad photodiode sensor* merupakan transduser pengukur utama yang digunakan dalam mengukur intensitas sinar infra merah dari pemancar laser. Sensor ini akan menunjukkan nilai intensitas sinar inframerah laser yang berbeda ketika sensor berada pada media uji yang berbeda warna. Adanya perbedaan warna pada fluida uji dengan warna udara ruang uji akan mengubah intensitas pancaran laser ke receiver photodiode. Nilai tersebut dikonversi ke bentuk nilai 8 bit oleh mikrokontroler.
7. *Pemancar laser* merupakan transmitter yang meneruskan besaran fisis berupa sinar tampak yang memiliki panjang berkisar 1 nm – 750 nm ini menjadi input dari sensor lilypad photodiode.
8. Dua *push button* yang terdiri dari *push button set* (hijau) dan *reset* (merah) berfungsi sebagai pemberi sinyal masukan pada mikrokontroler untuk menjalankan proses pengukuran. Ketika *push button set* pada kondisi HIGH dan *push button reset* LOW maka sistem akan menggerakkan sarang sensor ke permukaan fluida uji. Apabila *push button reset* dalam kondisi HIGH dan *push button set* LOW, maka sistem akan menarik sarang sensor kembali ke posisi awalnya.
9. Tampilan LCD 16x2 berfungsi sebagai pemberi informasi pada pengguna tentang hasil pengukuran.

5 Tampilan

5.1 HMI (*Human Machine Interface*)

HMI (*Human Machine Interface*) dibuat dalam bentuk *image processing* berukuran 600 x 700 pixels pada PC. Pembuatan tampilan *processing* pada penelitian ini mewajibkan penggunaan komunikasi serial kabel USB Arduino ke PC. Hasil akuisisi data yang diperoleh mikrokontroler arduino kemudian secara serial dikirim ke PC melalui serial port perangkat lunak Arduino. Dari data tersebut, perangkat lunak *processing* akan menggunakan data yang ada untuk ditampilkan melalui layarnya. Tampilan HMI *processing* pada penelitian ini ditunjukkan oleh Gambar 4.



Gambar 4 Tampilan HMI processing pada PC

Pada penelitian ini, terdapat perhitungan volume koreksi berdasarkan pengaruh densitas dan suhu yang tidak secara langsung diakuisisi oleh prototipe. Tetapi perhitungan volume koreksi tersebut dilakukan secara manual oleh PC dengan dasar tabel ASTM 53 dan Tabel ASTM 54. Densitas fluida dibuat konstan pada pengujian ini bernilai 1000 kg/m³ dan pada suhu 28° C. Dengan data level fluida yang telah diperoleh, program akan mengeksekusi perhitungan volume koreksi dengan data densitas, suhu dan luas penampang tangki yang konstan. Tampilan data hasil perhitungan volume koreksi dapat ditunjukkan oleh Gambar 4.

5.2 Penyimpanan data pada file PDF

Kegiatan penyimpanan data hasil pengukuran ATG ini diwujudkan dalam bentuk file PDF yang telah terhubung dengan software processing, sehingga dengan mengakses tombol "Save PDF" di layar processing, secara otomatis data hasil pengukuran akan tersimpan dan tercetak secara langsung di file PDF. Tampilan data pada file PDF ditunjukkan oleh Gambar 5.

**PROTOTYPE *AUTOMATIC TANK GAUGING(ATG)* UNTUK PENGUKURAN
LEVEL FLUIDA STATIK MEMANFAATKAN LASER DAN PHOTODIODA**

D3 METROLOGI DAN INSTRUMENTASI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG

LAPORAN TANGKI
Nomor : 12/ 39/ 2

Nama Alat : ATG MI 2011

Data Tangki

Observed :

Level	: 1140.0	mm
Temperature	: 34.0	°C
Density	: 880.0	kg/m ³
Volume	: 1000.0	m ³

Standard :

Density 15 °C	: 892.2	kg/m ³
Volume corr	: 985.944	x 10 ⁻³
Volume 15 °C	: 985.944	m ³

Pemilik : PT Metrins Jaya
Jl. Raya Solo Bandung 500 km

Bandung, 11 -5 -2014
Field Specialist

Mr/ Mrs _____

Gambar 5 Tampilan penyimpanan data dalam bentuk PDF

6 Hasil dan Pembahasan

Pada sistem pengukuran ini, sarang sensor digerakkan oleh motor stepper, dimana sarang sensor dan motor stepper dihubungkan dengan sebuah wire. Pada bagian sarang sensor terdapat komponen pemancar laser serta photodiode. Pemancar laser berfungsi untuk menghasilkan cahaya yang akan dilewatkan pada fluida uji. Photodiode digunakan untuk mengukur intensitas cahaya laser setelah melewati fluida uji. Hasil pembacaan photodiode berupa tegangan 0–5 V, pada penelitian ini digunakan 2 jenis fluida yaitu fluida gas (udara) dan fluida cair (air). Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperoleh nilai pembacaan photodiode untuk 2 jenis fluida sebagai berikut:

Tabel 1 Pembacaan photodiode untuk fluida gas dan air

Tegangan Keluaran Photodiode	
Udara	732 – 879 mV
Air	390 – 488 mV

Nilai pembacaan photodiode untuk fluida air berada pada rentang 390–488 mV, rentang nilai tersebut digunakan sebagai set point untuk mengontrol pergerakan ATG dalam pengukuran level fluida cair. Apabila mikrokontroler telah menerima input pembacaan photodiode berada pada rentang 390–488 mV maka motor stepper akan berhenti, selanjutnya program akan menampilkan level fluida terukur.

7 Pengujian dan Analisis Data

Pada proses pembuatan prototipe ini dilaksanakan beberapa pengujian yang ditujukan untuk menentukan performansi prototipe dalam memberikan keakuratan dan kelinieritasan pengukuran. Maka dari itu perlu dilakukan pengujian resolusi motor stepper, pengujian akurasi dan presisi, serta pengujian linieritas prototipe ini.

7.1 Pengujian Resolusi Motor Stepper

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui perbandingan jarak perpindahan sarang sensor untuk satu step motor yang digunakan. Dalam hal ini motor stepper dihubungkan dengan sarang sensor melalui katrol. Proses pengujian diawali dengan mengambil nilai rata – rata dari 3 pengukuran pergerakan sarang sensor antara titik 1140 mm ke titik 495 mm. Pembacaan step motor dan jarak terukur yang ditampilkan oleh antarmuka dicatat dan dihitung sebagai berikut:

Pembacaan step instrument:

- Pengukuran I = 1037 step
- Pengukuran II = 1023 step
- Pengukuran III = 1024 step

Rata-rata step = 1028

Resolusi atau perpindahan jarak terkecil yang dapat dihasilkan oleh motor dihitung dengan membagi nilai jarak yang ditempuh sarang sensor dengan jumlah step rata-ratanya

$$\text{Resolusi} = (TT - RL) / \text{Step} \quad (1)$$

Keterangan:

TT = Titik tertinggi tangki (mm)

RL = Level referensi (mm)

Step = Jumlah step

Dari Persamaan (1), apabila diketahui bahwa titik referensi yang digunakan adalah 495 mm, maka perhitungan nilai resolusi step motor stepper yang digunakan adalah:

$$\text{Resolusi} = (1140 - 495) \text{ mm} / 1028 \text{ step} = 0,685 \text{ mm} / \text{Step} \quad (2)$$

Berdasarkan Persamaan (2), nilai resolusi step tersebut dijadikan sebagai salah satu variabel konstan pada pemrograman mikrokontroler. Apabila diambil titik tertinggi pada tangki bernilai 1140 mm dan nilai 1 stepnya adalah 0,685 mm, maka untuk memperoleh pembacaan level sampai ke dasar tangki diperlukan 1664,5 step motor. Sehingga nilai level yang ditampilkan pada display LCD dan antar muka PC ditunjukkan oleh Persamaan (3)

$$\text{Resolusi} = (1140 - 495) \text{ mm} / 1028 \text{ step} = 0,685 \text{ mm} / \text{Step} \quad (3)$$

7.2 Pengujian Presisi dan Akurasi

Pengujian presisi dan akurasi dilakukan untuk mengetahui tingkat presisi dan akurasi ATG yang telah dibuat. Pada ATG ini terdapat 2 perintah yang dapat diberikan kepada mikrokontroler yaitu perintah set dan reset. Kedua perintah itu ditandai oleh sinyal masukan dari 2 *push button* yang berbeda. Ketika pada ATG *push button set* diaktifkan, maka motor akan menggerakkan sarang sensor turun menuju permukaan fluida uji. Sedangkan *push button reset* berfungsi untuk mengembalikan sarang sensor menuju posisi awal di titik tertinggi tangki.

7.2.1 Pengujian awal

Pengujian dilaksanakan di 3 titik pengukuran yang pada masing-masing titik pengukuran dilakukan 10 kali pengujian secara berulang tanpa *adjustment* posisi *reset* sarang sensor. Artinya, pengujian dilakukan tanpa merubah sedikitpun jarak TT (*top tank*) terhadap titik pengukuran (RL) pada sistem resetnya. Ketiga titik pengujian tersebut adalah 1000 mm, 500 mm, dan 250 mm.

Di tahap ini, data yang diperoleh dapat diterangkan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Pengujian presisi dan akurasi awal

Parameter	RL = 1000mm	RL = 500mm	RL=250mm
Rata-rata	1006	534	298
Variasi	72	595	1295
Standar Deviasi	9	24	36
Presisi	97.5%	86.3%	63.7%
Bias	12.2	33.5	47.5
Kesalahan	3.8%	21.3%	62.2%
Akurasi	96.2%	78.7%	37.8%

Data pengujian dan akurasi awal yang dimuat pada Tabel 2 menunjukkan kesalahan yang tinggi. Hal ini disebabkan oleh sarang sensor tidak kembali tepat pada posisi titik tertinggi tangki pada posisi reset. Karena itu, faktor pengali pada kondisi reset diubah dengan memperhitungkan perbedaan resultan gaya antara pergerakan sarang sensor turun dengan pada saat naik.

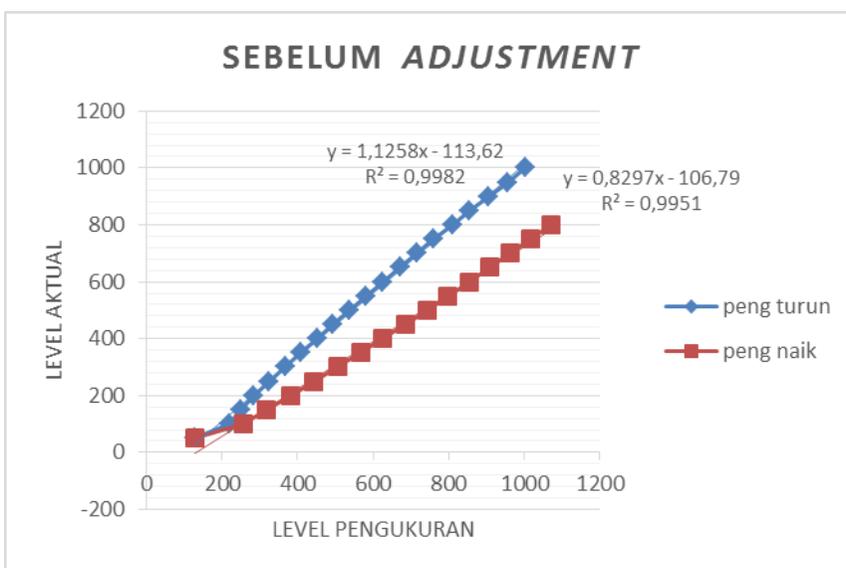
7.2.2 Pengujian setelah *adjustment*

Adjusment dilakukan dengan cara penambahan step pada saat reset seperti ditunjukkan pada Persamaan (4)

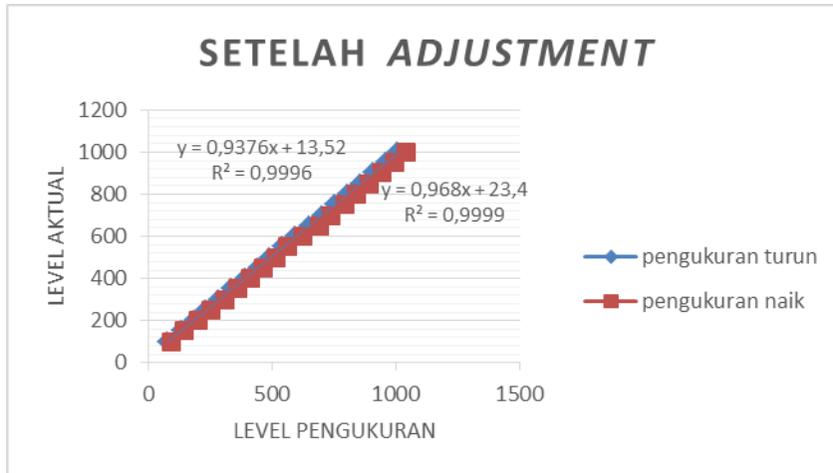
$$\text{Level}=0.0121(\text{step}+2) \tag{4}$$

7.3 Pengujian Linearitas

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan alat memberikan hasil pengukuran secara linier. Pengujian ini dilaksanakan dalam 2 kondisi, yaitu pengukuran turun dan naik. Pengujian dilakukan pada titik pengukuran 1000, 950, 900,.....,100, 50 mm dan sebaliknya. Hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 7 dan 8.



Gambar 7 Kurva Linearitas sebelum adjustment



Gambar 8 Kurva linearitas setelah adjustment

Gambar 8 menunjukkan perbaikan yang signifikan. Sebelum adjustment, terdapat histerisis yang besar antara pengukuran turun dan naik, yaitu sebesar 27.77 mm. Adapun setelah adjustment, histerisis jauh mengecil menjadi 9.754 mm. Hal ini menunjukkan bahwa adjustment memberikan perbaikan signifikan pada kinerja alat ini.

7.4 Analisis faktor koreksi pada pengujian

Berdasarkan pengujian-pengujian yang telah dilakukan, ada beberapa faktor koreksi yang dapat mempengaruhi munculnya galat pengukuran, yaitu:

1. Beban motor bertambah ketika reset.
2. Intensitas cahaya gangguan dari lingkungan.
3. Kualitas sling (dimensi, kekuatan dan fleksibilitas).

Pada pengujian linieritas dengan kondisi prototipe ATG belum *adjusted*, ditemukan fakta bahwa posisi sarang sensor setelah kondisi reset berbeda dengan posisi awal sarang sensor sebelum kondisi set. Pengujian ini menunjukkan bahwa kondisi tersebut berjalan secara berkelanjutan. Hal ini menyebabkan nilai galat pengukuran yang selalu membesar seiring semakin banyaknya jumlah pengujian yang dilakukan. Hal ini dapat disebabkan oleh pengaruh konstruksi mekanik yang mengalami kesalahan ketika mengangkat beban sarang sensor. Gaya gravitasi *sling wire* dan sarang sensor mengurangi torsi motor stepper untuk mengangkat sarang sensor. Karena itu, muncul resiko terjadinya slip pada *belt* yang terpasang pada katrol. Selain itu, pada konstruksi *sling wire* yang digunakan pada penelitian ini, terdapat resiko melengkungnya kawat berukuran diameter 2 mm tersebut. Sehingga, ada kemungkinan jumlah step yang diakuisisi oleh mikrokontroler dalam mencapai ketinggian tertentu tidak sesuai dengan jumlah step yang diharapkan.

Intensitas cahaya, dalam satuan lux, sekitar lokasi pengujian juga dapat memberikan perubahan tegangan keluaran sensor photodiode. Hal tersebut ditunjukkan oleh perbedaan tegangan keluaran yang terjadi pada saat pengujian di pagi hari, siang hari dan di malam hari. Oleh karena itu, dalam penelitian ini pengujian prototipe dibatasi untuk dilakukan hanya pada kondisi malam hari di CITA ITB dengan intensitas cahaya sekitar yaitu 92 Lux saja.