



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**SISTEM PENGENDALI KETINGGIAN DETEKTOR PADA FANTOM AIR**

**FRANSISCA YULIA DIMITRI**

**0706196563**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
PROGRAM STUDI FISIKA  
DEPOK  
JUNI 2010**

**HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS**

**Skripsi/Tesis/Disertasi ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.**

**Nama : Fransisca Yulia Dimitri**  
**NPM : 0706196563**  
**Tanda Tangan :**  
**Tanggal : 8 Juni 2010**



## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Fransisca Yulia Dimitri

NPM : 0706196563

Program Studi : Fisika

Judul Skripsi : Sistem Pengendali Ketinggian Detektor Pada Fantom Air

**Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Ekstensi Fisika Medis, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia**

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dwi Seno Kuncoro, M.Si (.....)

Pembimbing : Arief Sudarmaji M.T (.....)

Penguji : Prof. Dr. Djarwani S.Soejoko (.....)

Penguji : Dr. Prawito (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 8 Juni 2010

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena dengan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan Skripsi mengenai “Sistem Pengendali Ketinggian Detektor Pada Fantom Air”.

Dalam proses pembuatan Skripsi ini hingga selesai, penulis memperoleh dukungan serta bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak, Ibu dan kakak penulis yang telah memberikan dukungan untuk menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak Dwi Seno Kuncoro, M.Si dan Bapak Drs. Arief Sudarmadji, MT selaku dosen pembimbing. Terimakasih atas bimbingan dan arahan yang telah banyak membantu penulis dalam penulisan skripsi ini.
3. Ibu Prof. Dr. Djarwani S. Soejoko sebagai ketua jurusan Fisika Medis.
4. Jeremiah Suryatenggara Bunbunku yang telah berkenan memberikan semangat dan membantu penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini.
5. Rizal yang telah berkenan membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
6. Bapak Parno yang telah membantu penulis dalam pembuatan mekanik.
7. Teman-teman seperjuangan di Fisika Medis yang telah mendukung satu sama lain.
8. Perpustakaan yang menjadi tempat dan sumber inspirasi skripsi ini.

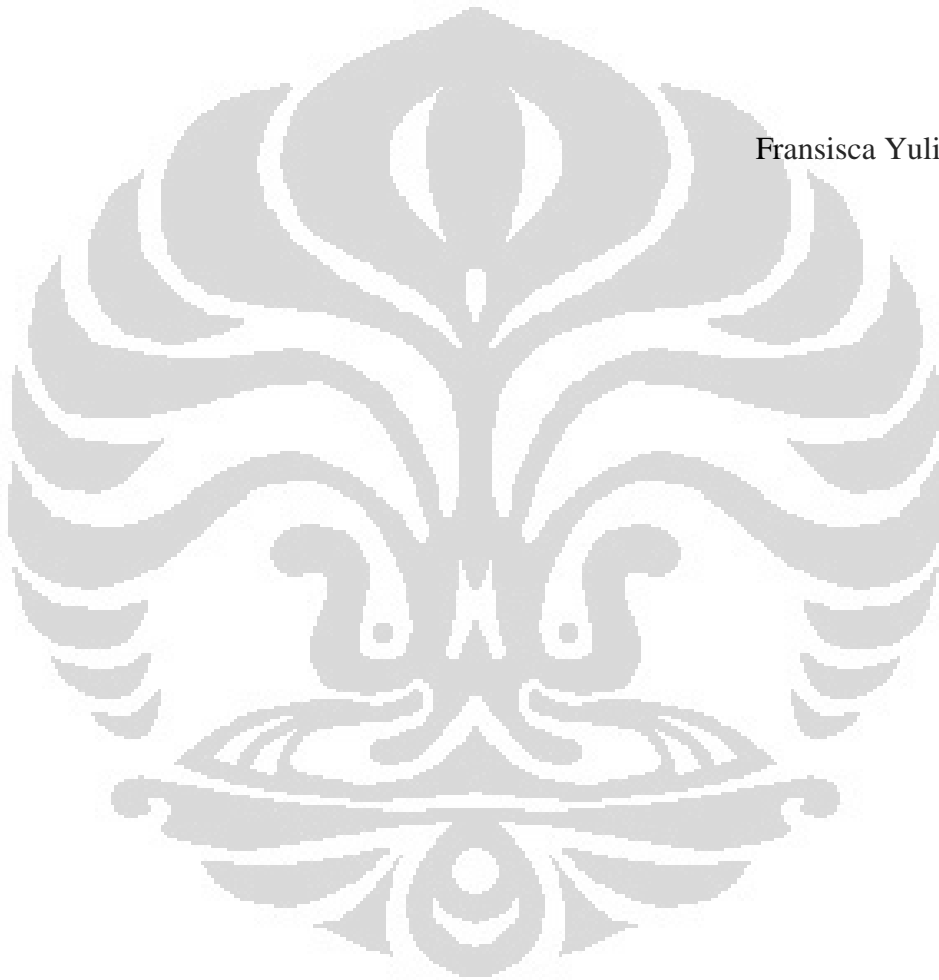
Besar harapan penulis bahwa skripsi ini dapat sesuai dengan tugas yang telah diberikan dan dipercayakan kepada penulis.

Semoga Tuhan Yang Maha Esa selalu melimpahkan rahmat dan karunia-Nya kepada seluruh pihak yang membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini. Dalam pembuatan skripsi ini penulis menyadari masih terdapat kekurangan. Namun demikian penulis telah berupaya melengkapi kekurangan yang terdapat pada skripsi ini.

Akhirnya penulis berharap semoga skripsi ini berguna dan bermanfaat serta memberikan sumbangan pengetahuan bagi kita semua. Atas perhatiannya, penulis mengucapkan terima kasih.

Depok, 14 Mei 2010

Fransisca Yulia Dimitri



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Fransisca Yulia Dimitri  
NPM : 0706196563  
Program Studi : Fisika Medis  
Departemen : Fisika  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Jenis karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty- Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul : Sistem Pengendali Ketinggian Detektor Pada *Fantom Air* beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok  
Pada tanggal : 8 Juni 2010

Yang menyatakan

(FRANSISCA YULIA DIMITRI)

## ABSTRAK

Nama : Fransisca Yulia Dimitri  
Program Studi : Fisika Medis  
Judul : Sistem Pengendali Ketinggian Detektor Pada Fantom Air

Pada fantom air dibuat mekanik sistem pengendali ketinggian detektor menggunakan motor DC sebagai penggerak detektor dengan metode pengendalian proporsional. Penentuan ketinggian detektor menggunakan PC (LabView). Drat ulir yang digunakan terbuat dari besi dan sensor rotary encoder menghasilkan pulsa 8026 cacahan untuk 1 mm. Alat ini telah diuji dan mampu bergerak sejauh 200 mm dengan hasil yang mendekati setpoint dan didapat error yang paling besar adalah 9 cacahan. Hasil PDD menggunakan fantom air ini mendekati nilai PDD acuan dengan akurasi yang paling besar adalah 99,43% dan standar deviasi 0,05%.

Kata kunci: Fantom Air, Detektor, Rotary Encoder dan PDD

## ABSTRACT

Name : Fransisca Yulia Dimitri  
Study Program : Medical Physics  
Title : Detector Height Controller System in Water Phantom

In a water phantom was made a detector height controller system mechanics, utilizing a DC powered motor to mobilize the detector, by the method of proportional control. The determination of the detector height was done by a PC (LabView). The screw shaft is made of iron. The rotary encoder sensor produced 8026 pulses for each millimeter. This mechanical device had been tested and is able to move as far as 200 mm with results relatively close to the setpoints. The largest error value was 9 pulses. The PDD results from water phantom stay relatively very close to the results of reference PDD with accuracy is 99,43% and deviation standard of 0,05% at worst.

Key words: Water phantom, Detector, Rotary Encoder and PDD



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL.....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN.....</b>	<b>iii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....</b>	<b>vi</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>ix</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan Penulisan .....	2
1.3 Pembatasan Masalah .....	2
1.4 Metode Penelitian .....	3
1.5 Sistematika Penulisan .....	3
<b>BAB 2 TEORI DASAR .....</b>	<b>5</b>
2.1 Pengukuran Vertikal pada Fantom Air.....	5
2.2 Detektor.....	6
2.2.1 Prinsip Kerja Ionization Chamber.....	8
2.2.2 Kelebihan dan Kekurangan Ionization Chamber.....	9
2.3 Percentage Depth Dose (PDD).....	11
2.4 Dosimeter.....	13
2.4.1 Dosimeter Absolut.....	13

2.4.2	Dosimeter Relatif.....	13
2.4.3	Ionization Chamber : Absolut atau Relatif.....	14
2.5	Motor DC.....	15
2.6	Rotary Encoder.....	17
2.7	Gear.....	18
2.8	Sensor Suhu LM35D.....	19
2.9	Metode Pengendalian Proporsional.....	19
<b>BAB 3 PERANCANGAN DAN CARA KERJA SISTEM.....</b>		<b>21</b>
3.1	Konstruksi Mekanik.....	21
3.2	Metode Pengambilan Data.....	22
3.3	Perancangan Rangkaian.....	23
3.3.1	Rangkaian Driver Motor.....	27
3.4	Cara Kerja Alat.....	28
<b>BAB 4 DATA DAN ANALISA.....</b>		<b>30</b>
4.1	Data Sensor.....	30
4.2	Data Hasil Setpoint dan Proses Variable.....	31
4.3	Data PDD.....	31
<b>BAB 5 PENUTUP.....</b>		<b>34</b>
5.1	Kesimpulan .....	34
5.2	Saran .....	34

## DAFTAR ACUAN

## LAMPIRAN

## BAB 1

### PENDAHULUAN

Pada bab ini penulis menjelaskan mengenai latar belakang pembuatan skripsi, tujuan penulisan, metode dalam penulisan, pengidentifikasian masalah yang dibahas dan sistematika dalam penulisan skripsi ini.

#### 1.1 Latar Belakang

Radioterapi dikenal juga dengan pengobatan sinar, merupakan salah satu metode pengobatan kanker selain pembedahan dan kemoterapi. Kombinasi metode pengobatan di atas akan memberikan hasil pengobatan optimal. Saat ini di negara maju pengobatan kanker bersama penyakit jantung dan pembuluh darah menempati posisi tertinggi penyebab kematian. Di negara berkembang posisi ini masih dikalahkan oleh penyakit infeksi atau kurang gizi, meski tidak berarti angka kejadian penyakit ini dapat diabaikan. Berbagai publikasi menyebutkan bahwa di Eropa Barat, Amerika, dan negara maju lainnya, 50%-60% pasien kanker memperoleh penyinaran, baik pada awal sebagai kombinasi bedah ataupun berdiri sendiri. Angka ini dipastikan lebih tinggi di negara ketiga, mengingat lebih banyaknya kasus lanjut yang dijumpai serta murahnya pengobatan ini. Radioterapi berarti pengobatan kanker dengan menggunakan sinar radioaktif. Cara ini telah dimulai sejak kurang lebih seratus tahun lalu, tidak lama setelah Prof. Willem Conrad Roentgen menemukan sinar x. Dengan berkembangnya ilmu kedokteran dan teknologi, metode ini makin mendapat tempat dalam pengobatan kanker.

Pengobatan sinar ini biasanya memakan waktu 5-6 minggu bahkan kadang lebih. Pemberian informasi mengenai penyakit serta metode pengobatan yang akan diterima disamping pemberian pengobatan yang bertujuan menghilangkan keluhan, akan sangat membantu pasien. Efek samping yang dirasakan pada umumnya terjadi pada minggu-minggu pertama pengobatan berupa rasa lemah, menurunnya nafsu makan, yang biasanya terjadi karena pasien tidak dapat menerima kenyataan bahwa dirinya menderita

kanker, harus menjalani terapi sinar yang dinilai menakutkan, atau perjalanan dari rumah ke tempat pengobatan yang melelahkan. Namun, meskipun berbagai metode pengobatan kanker terkini ditopang oleh peralatan modern, kegagalan masih selalu dapat terjadi. Faktor kegagalan tersering adalah lambatnya pasien meminta pertolongan dokter sehingga penyakit telah mencapai stadium lanjut, disamping kepatuhan pasien terhadap program pengobatan.

Radiotherapy merupakan bidang yang digunakan dengan memberikan dosis semaksimal mungkin pada kanker dan dosis seminimal mungkin pada jaringan sehat yang berada disekitar kanker. Efek yang diakibatkan apabila dosis yang diberikan kepada pasien berlebihan maka jaringan sehat yang berada disekitar kanker pun akan menjadi mati. Sedangkan bila dosis yang diberikan kepada pasien tidak sesuai dengan dosis yang seharusnya diberikan maka jaringan kanker tidak akan mati. Untuk kalibrasi dan pengukuran parameter pesawat teleterapi dibutuhkan pengukuran menggunakan fantom air. Tetapi prosedur yang ada selama ini dijalankan secara manual dan memiliki kelemahan. Adapun kelemahannya adalah kurang sistematisnya prosedur, kurang efisien dalam hal tenaga dan waktu, harga fantom dari vendor sangat mahal, tingkat presisi penentuan ketinggian kurang tepat. Oleh karena itu pada penelitian ini, dibuat alat secara jarak jauh yang dapat meningkatkan efisiensi dan dapat meningkatkan tingkat presisi dalam penentuan ketinggian.

## **1.2 Tujuan Penulisan**

Tujuan pembuatan tugas akhir ini adalah :

1. Sebagai syarat kelulusan Program Ekstensi Fisika Medis.
2. Membuat modul sistem pengendali ketinggian detektor dari jarak jauh.
3. Menggunakan program mikrokontroler yang telah diprogram sesuai dengan mekanik yang telah dibuat untuk melakukan pengiriman data pada modul pengendali sehingga dapat dianalisa berdasarkan ilmu yang diperoleh selama kuliah.

## **1.3 Pembatasan Masalah**

Penulisan skripsi ini membahas mengenai sistem pengendali ketinggian detektor pada fantom air. Sistem pengendali berfungsi untuk mengendalikan ketinggian detektor, sehingga detektor dapat berhenti pada ketinggian yang diinginkan. Pembuatan skripsi

ini dibatasi mengenai sistem pengendali ketinggian detektor untuk sinar gamma yang diarahkan secara vertikal.

#### **1.4 Metode Penelitian**

Pada alat ini menggunakan detector yang dapat digerakkan secara vertical oleh sebuah motor dc. Pada motor dc terdapat rotary encoder untuk menghitung putaran motor. Untuk mengendalikan alat ini menggunakan sebuah pengendali yang dapat mengatur ketinggian detector.

#### **1.5 Sistematika Penulisan**

##### **BAB I Pendahuluan**

Pendahuluan berisi latar belakang, permasalahan, batasan masalah, tujuan penulisan, metode penulisan dan sistematika penulisan dari skripsi ini.

##### **BAB II Teori Dasar**

Teori dasar berisi landasan-landasan teori sebagai hasil dari studi literatur yang berhubungan dalam perancangan dan pembuatan mekanik.

##### **BAB III Perancangan Sistem**

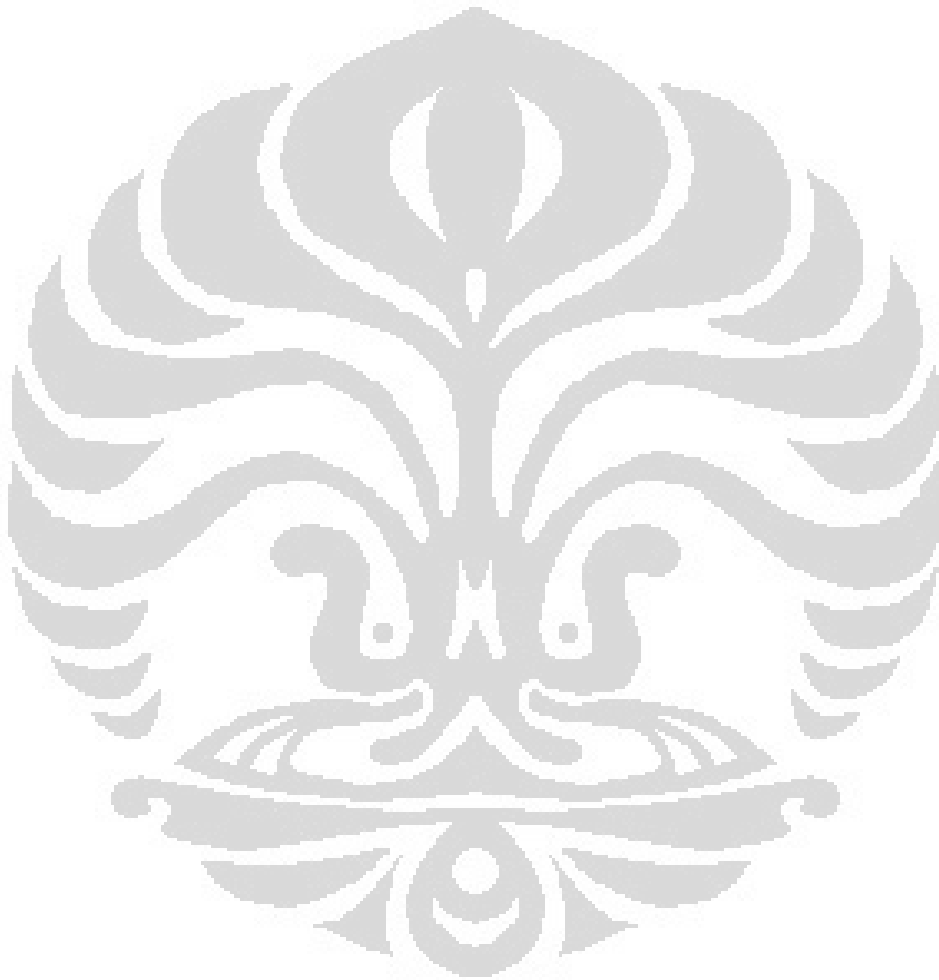
Pada bab ini akan dijelaskan secara keseluruhan sistem kerja dari mekanik sistem pengendali.

##### **BAB IV Pengujian Sistem dan Pengambilan Data**

Bab ini berisi tentang unjuk kerja alat sebagai hasil dari perancangan sistem. Pengujian akhir dilakukan dengan menyatukan seluruh bagian-bagian kecil dari sistem untuk memastikan bahwa sistem dapat berfungsi sesuai dengan tujuan awal. Setelah sistem berfungsi dengan baik maka dilanjutkan dengan pengambilan data untuk memastikan kapabilitas dari sistem yang dibangun.

## **BAB V Penutup**

Penutup berisi kesimpulan yang diperoleh dari pengujian sistem dan pengambilan data selama penelitian berlangsung, selain itu juga penutup memuat saran untuk pengembangan lebih lanjut.



## BAB 2

### TEORI DASAR

Pada bab 2 ini penulis menjelaskan mengenai dasar–dasar teori yang mendukung penulisan ini diantaranya pengukuran vertikal pada fantom air, dimana sistem pengendali ketinggian detektor untuk sinar gamma diarahkan secara vertikal. Motor DC merupakan suatu penghantar yang berarus listrik dan ditempatkan dalam suatu medan magnet maka penghantar tersebut akan mengalami gaya. Rotary encoder yang berfungsi sebagai penghitung putaran suatu as atau sumbu. Dan ionization chamber yang merupakan detektor dengan menggunakan udara bebas sebagai gasnya.

#### 2.1. Pengukuran Vertikal Pada Fantom Air

Setiap pesawat pada radioterapi wajib dilakukan pengecekan dan kalibrasi yang bertujuan untuk menjaga kualitas pesawat maupun kualitas keluaran sumber radiasi yang diemisikan. Dan dilakukan secara berkala baik per hari, per bulan maupun per tahun. Salah satu kalibrasi pesawat radioterapi dilakukan dengan menggunakan fantom air yang merupakan alat bantu pengganti objek jaringan tubuh manusia. Fantom air ini terbuat dari akuarium *acrylic* berisi air yang digunakan untuk pengukuran dosis. Untuk memudahkan pengukuran maka dibuat fantom air yang dikendalikan melalui komputer, dimana posisi detektor dapat diubah sesuai dengan kedalaman yang diinginkan. Apabila posisi detektor hanya dapat di ubah pada satu arah (umumnya sumbu z atau kedalaman) maka sering disebut fantom air 1 dimensi. Tetapi apabila posisi detektor dapat berubah pada suatu bidang sumbu x dan y maka disebut fantom air 2 dimensi dan demikian juga seterusnya untuk fantom air 3 dimensi. Pada umumnya fantom air digunakan untuk kalibrasi, mengukur PDD, TMR dan berbagai pengukuran lain di dalam air. PDD (Percentage Depth Dose) adalah perbandingan antara kedalaman tertentu dengan kedalaman maksimum [2]. Apabila hamburan berubah maka PDD dan dosis akan

berubah dan dicari pada kedalaman maksimum. Faktor yang mempengaruhi PDD adalah energy, luas lapangan, kedalaman dan jarak.

Gambar 2.1 merupakan gambar fantom air yang biasa digunakan di rumah sakit. Penelitian ini dilakukan dengan membuat fantom air yang disesuaikan dengan fungsi seperti aslinya, yaitu pengukuran dengan pergerakan detektor di dalam air, sehingga dapat dilakukan pengukuran PDD.



Gambar 2-1. Fantom Air Otomatis

Alat ini dapat mengendalikan ketinggian detektor yang dikendalikan melalui komputer sesuai dengan kedalaman yang diinginkan. Penggerak dari gerak translasi ini adalah motor DC dan metode pergerakannya dengan menggunakan drat yang terbuat dari besi.

## 2.2. Detektor

Radiasi yang mengionisasi setiap materi atau partikel yang dilaluinya disebut radiasi pengion (ionizing radiation). Sedangkan radiasi yang tidak menyebabkan terjadinya ionisasi disebut non ionizing radiation.

Radiasi pengion dibagi menjadi dua yaitu :

1. Radiasi pengion secara langsung, radiasi ini disebabkan oleh partikel bermuatan seperti electron, proton, partikel  $\alpha$  dan partikel berat.
2. Radiasi pengion tak langsung, radiasi ini disebabkan oleh partikel netral seperti photon (sinar x dan sinar gamma) dan neutron.



Partikel yang mengionisasi materi dalam lintasannya untuk menghasilkan pasangan ion dapat dideteksi dengan menggunakan alat seperti ionization chamber, proportional counter, geiger muller counter, film, chemical dosimeter, scintillation counter, cerenkov counter, thermoluminescent dosimeter dan calorimeter [2]. Tabel berikut menjelaskan berbagai macam alat deteksi beserta zat yang digunakan dan tipe keluarannya.

Tabel 2-1. Bentuk- Bentuk Keluaran yang Digunakan  
Oleh Berbagai Alat Detektor Radiasi

Effect	Type of Instrument	Detector
Electrical	1. Ionization Chamber 2. Proportional Counter 3. Geiger Counter 4. Solid State	1. Gas 2. Gas 3. Gas 4. Semiconductor
Chemical	1. Film 2. Chemical Dosimeter	1. Photographic Emulsion 2. Solid or Liquid
Light	1. Scintillation Counter 2. Cerenkov Counter	1. Crystal or Liquid 2. Crystal or Liquid
Thermoluminescent	Thermoluminescent Dosimeter	Crystal
Heat	Calorimeter	Solid or Liquid

Detector yang menggunakan gas ada 3 yaitu ionization chamber, proportional counter, geiger muller counter atau disingkat geiger counter. Keluaran alat ini berbentuk elektrik atau beda tegangan (tinggi pulsa). Detector yang menggunakan gas dan memiliki prinsip kerja yang pada dasarnya sama yaitu ionisasi gas yang disebabkan oleh radiasi yang ditembakkan ke tabung gas. Gas yang digunakan pada umumnya adalah gas-gas mulia seperti helium, argon, neon dan lain-lain. Penggunaan gas mulia ini karena merupakan gas yang paling stabil. Hal yang membedakan ketiga detector ini adalah besar tegangan yang digunakan. Seperti yang ditunjukkan oleh gambar berikut :

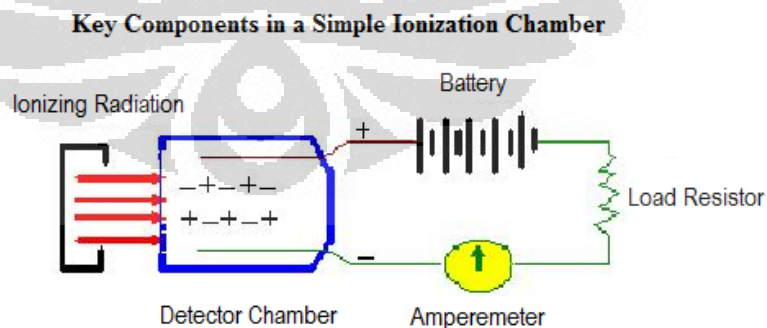


Gambar 2-2. Grafik Tegangan Terpasang Terhadap Tinggi Pulsa

Ionization chamber beroperasi pada beda potensial yang lebih rendah jika dibandingkan dengan proportional counter dan geiger counter. Pada gambar 2-2, terlihat bahwa jika tegangan yang terpasang tidak mencukupi angka tertentu, maka ion yang terbentuk karena radiasi akan menggabungkan diri lagi menjadi partikel gas.

### 2.2.1. Prinsip Kerja Ionization Chamber

Ionization chamber yang banyak digunakan saat ini adalah yang menggunakan udara bebas sebagai gasnya. Ketika partikel radiasi ditembakkan ke dalam tabung (chamber) ionisasi, misalkan partikel  $\beta$ , maka partikel tersebut akan mengionisasi gas yang terdapat dalam tabung. Proses tersebut akan menghasilkan ion positive dan ion negative. Seperti pada gambar 2-3.



Gambar 2-3. Cara Kerja Ionization Chamber

Dengan beda potensial tertentu maka ion (-) akan tertarik ke anoda (+) dan ion (+) akan tertarik ke katoda (-). Ion (+) bergerak lebih lambat karena lebih massif dari

ion (-) atau electron [1]. Ionization chamber beroperasi pada beda potensial yang lebih rendah jika dibandingkan dengan proportional counter dan geiger counter. Pada gambar 2-2, terlihat bahwa jika tegangan yang terpasang tidak mencukupi angka tertentu, maka ion yang terbentuk karena radiasi akan menggabungkan diri lagi menjadi partikel gas. Jika tegangan yang diberikan terlalu rendah, maka beberapa electron dan ion (+) akan bergabung kembali (*recombine*) sebelum mencapai elektroda sehingga ion kembali menjadi molekul tak bermuatan. Dengan potensial tertentu maka akan terdeteksi arus dengan menyimpangnya jarum amperemeter. Arus yang terdeteksi biasanya sangat kecil, sekitar beberapa microampere, namun masih dapat terdeteksi. Sebuah arus listrik adalah sebuah aliran electron pada kawat dalam sebuah rangkaian sederhana. Electron secara terus menerus berputar-putar dalam kawat rangkaian. Ketika electron meninggalkan satu bagian kawat maka akan segera digantikan oleh electron selanjutnya. Sebenarnya pada ionization chamber tidak terdapat ion atau electron. Namun proses radiasi dari sumberlah yang menyebabkan timbulnya ion tersebut dan tertarik ke elektroda sehingga dapat terdeteksi oleh amperemeter. Sumber-sumber yang sangat radiokatif dapat menggantikan ion secara cepat sehingga menghasilkan arus yang besar.

### 2.2.2. Kelebihan dan Kekurangan Ionization Chamber

Kelebihan ionization chamber adalah akurasi dan ketelitian lebih baik dibandingkan dengan detektor yang lain dan mudah dibaca [3]. Kekurangan ionization chamber adalah membutuhkan kabel penghubung dan membutuhkan sumber tegangan yang tinggi. Adapun ionization chamber yang digunakan adalah farmer type chamber  $0,6 \text{ cm}^3$ , type 30013.



Gambar 2-4. Gambar Ionization Chamber

Adapun spesifikasi ionization chamber adalah

Tabel 2-2. Spesifikasi farmer type chamber 0,6 cm<sup>3</sup>, type 30013

Type of Product	Waterproof, vented thimble ionization chamber
Measuring quantities	Absorbed dose to water, air kerma and exposure
Nominal useful Energy range	30 keV...50 MeV Photon and electron radiation
Energy response	$\leq \pm 2\%$ (70 kV...280 kV) $\leq \pm 4\%$ (200 kV... <sup>60</sup> Co)
Response	20 nC/Gy (typical)
Sensitive volume	0.6 cm <sup>3</sup>
Directional response	Less than $\pm 0.5\%$ for rotation around chamber axis and for tilting of the axis by up to $\pm 5^\circ$
Electrode material	Al 99.98
Wall materials and densities	0.335 mm PMMA, 1.19 g/cm <sup>3</sup> 0.09 mm graphite, 1.85 g/cm <sup>3</sup> Total area density 56.5 mg/cm <sup>2</sup>
Build-up cap	Wall thickness 4.55 mm PMMA
Chamber voltage	+ 400V (nominal), max. + 500V
Leakage current	$\leq \pm 4$ fA
Cable leakage	$\leq 1$ pC/(Gy.cm)
Ion collection time	140 $\mu$ s at 400 V chamber voltage
Max. Dose rate (at 400 V)	10 Gy/s (99.0 % saturation) 5.0 Gy/s (99.5 % saturation)
Max. Dose/pulse (at 400 V)	0.91 mGy (99.0 % saturation) 0.46 mGy (99.5 % saturation)
Temperature range	(10...40) °C, (50...104) °F
Humidity range	(10...80) %, max 20 g/m <sup>3</sup>
Air pressure range	(930...1050) hPa

**2.3. Percentage Depth Dose (PDD)**

Distribusi dosis sumbu utama di dalam tubuh pasien biasanya dinormalisasikan menjadi  $D_{max} = 100\%$  pada kedalaman dengan dosis maksimum  $z_{max}$ , yang kemudian direferensikan sebagai distribusi Percentage Depth Dose (PDD). PDD didefinisikan sebagai berikut:

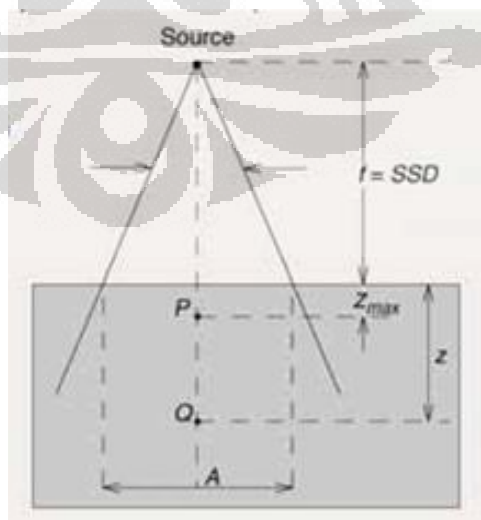
$$PDD(z, A, f, h\nu) = 100 \frac{D_Q}{D_P} = \frac{\dot{D}_Q}{\dot{D}_P} \dots\dots\dots(2-1)$$

Keterangan :

- $D_Q$  dan  $\dot{D}_Q$  adalah dosis dan laju dosis, pada titik acak Q pada kedalaman z pada sumbu utama beam.
- $D_P$  dan  $\dot{D}_P$  adalah dosis dan laju dosis, pada titik referensi P pada kedalaman  $z_{max}$  pada sumbu utama beam.

Percentage Depth Dose bergantung pada empat parameter:

- Kedalaman fantom z
- Luas bidang A pada permukaan tubuh pasien
- Jarak dari sumber ke permukaan  $f = SSD$
- Energi photon beam  $h\nu$



Gambar 2-5. Percentage Depth Dose (PDD)

Nilai PDD bervariasi:

- Dari 0 pada  $z \rightarrow \infty$
- Sampai 100 pada  $z = z_{\max}$

Dosis pada titik Q pada tubuh pasien memiliki dua komponen [2]: komponen primer dan komponen hamburan.

- Komponen hamburan pada titik Q mencerminkan kontribusi relative dari radiasi terhambur untuk dosis pada titik Q. Komponen ini bergantung pada parameter yang beragam seperti halnya kedalaman, luas bidang penyinaran, dan jarak dari sumber ke permukaan tubuh.
- Bertentangan dengan komponen primer dimana kontribusi photon untuk dosis pada titik Q datang secara langsung dari sumber, dosis hamburan yang dihantarkan oleh photon dihasilkan melalui hamburan Compton pada pasien, kolimator alat, filter paparan atau udara.

Adapun tabel acuan PDD adalah sebagai berikut :

Tabel 2-3. Percentage Depth Dose (PDD) Untuk Cobalt 60

Kedalaman (cm)	PDD Acuan (%)
0,5	100
5,0	78,2
5,5	75,8
6,0	73,4
6,5	70,9
7,0	68,2
7,5	66,4
8,0	63,9
8,5	61,9
9,0	59,9
9,5	57,8
10,0	56,0

## 2.4. Dosimeter

Dosimeter adalah peralatan yang dapat mengukur paparan, kerma, dosis serap dan dosis equivalent.

### 2.4.1. Dosimeter Absolut

Dosimeter absolut adalah pengukuran langsung terhadap dosis yang terserap pada kondisi standar. Contohnya antara lain adalah yang terukur pada calorimeter (jumlah energy panas yang terakumulasi mewakili jumlah energy yang terukur), pada ionization chamber (jumlah muatan listrik yang terukur mewakili jumlah electron yang dilepaskan dan otomatis mewakili jumlah energy yang terukur), dan pada fricke dosimeter (jumlah perubahan valensi pada sekelompok ion-ion sejenis yang diketahui jumlahnya mewakili jumlah electron yang dilepaskan dan juga otomatis mewakili jumlah energy yang terukur) [3]. Pada dasarnya, nilai dari dosis sebesar 1 gray (Gy) adalah

$$1 \text{ Gy} = 1 \frac{\text{J}}{\text{kg}} = 1 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2} \dots\dots\dots(2-2)$$

Dalam dosimeter absolut, nilai yang terukur pada dosimeter dapat langsung dimasukkan dalam rumus berdasarkan persamaan di atas dan kemudian didapatkan nilai dosisnya dalam satuan gray. Pengukuran dosis jenis ini dikategorikan sebagai “absolute” karena nilai dosis yang didapat adalah berdasarkan pada besarnya nilai dari satuan yang dikenal sebagai 1 gray itu sendiri, dimana dalam hal ini adalah 1 joule energy yang dilepaskan per satu kilogram massa yang menerima energi tersebut. Oleh karena itu, dosimeter absolut dapat digunakan langsung tanpa dikalibrasikan terlebih dahulu terhadap acuan atau referensi hasil dosimeter lain, dengan catatan pengukuran dosis harus dilakukan pada kondisi standar.

### 2.4.2. Dosimeter Relatif

Dosimeter relatif adalah pengukuran dosis menggunakan dosimeter yang terkalibrasi mengacu pada standar dosimeter absolut. Contohnya antara lain adalah film dosimetry, luminescence dosimetry, semiconductor dosimetry, dan seterusnya.

Misalnya pada film dosimetry, besarnya nilai dosis tercermin dari perubahan opacity pada film yang digunakan sebagai pendeteksi. Besarnya perubahan opacity ini bisa dengan akurat dan konsisten menunjukkan besarnya nilai dosis yang terukur film, namun tidak dapat menyatakan nilai dosis tersebut dalam satuan yang standar (Gy). Oleh karena itu, besarnya perubahan opacity perlu terlebih dahulu direlasikan dengan nilai dosis dengan cara membandingkan hasil pengukurannya dengan hasil pengukuran dosimeter absolut. Dengan mengekspos film pendeteksi dengan energi yang sama dengan yang dieksposkan pada dosimeter absolut, tingkat opacity yang ditunjukkan oleh film pendeteksi dapat direlasikan dengan nilai dosis yang terbaca pada dosimeter absolut. Inilah mengapa dosimeter tidak dapat digunakan untuk mengukur dosis sebelum dikalibrasikan kepada dosimeter referensi.

Dosimeter referensi adalah dosimeter absolut yang digunakan sebagai acuan untuk pengkalibrasian dosimeter relatif. Singkat kata, dosimeter relatif adalah sekedar perantara pengukuran nilai dosis yang sebenarnya nilai absolutnya dalam satuan gray diukur langsung oleh dosimeter absolut. Nilai dosis yang dapat diperoleh dari dosimeter relatif adalah juga tergantung dari ke dosimeter absolut mana kita mengkalibrasikan dosimeter relatif kita, oleh karena itu dosimeter jenis ini disebut sebagai “relative”.

#### 2.4.3. Ionization Chamber: Absolut atau Relatif

Ionization chamber dapat berfungsi sebagai dosimeter absolut atau dosimeter relatif, tergantung pada cara memperoleh nilai dosisnya. Nilai dosis pada ionization chamber dapat diperoleh dari mengkalkulasikan nilai-nilai yang terukur dengan rumus:

$$D_{air} = \frac{Q}{m_{air}} \times \frac{W_{air}}{e} \dots\dots\dots(2-3)$$

Nilai yang terukur oleh dosimeter adalah nilai muatan listrik (Q). Nilai  $W_{air}/e$  atau nilai rata-rata energi yang dibutuhkan untuk membentuk sepasang ion di udara per muatan adalah konstan untuk kondisi udara yang tertentu, nilainya adalah 33.97 J/C untuk udara kering. Variabel yang tersisa adalah  $m_{air}$  atau massa udara yang menyerap energi di dalam dosimeter.

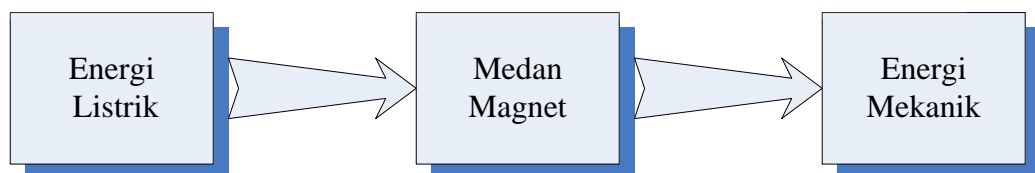


Dari sini dapat ditentukan bilamana sebuah ionization chamber adalah dosimeter absolut atau relatif [3]:

- Apabila nilai massa udara dalam chamber diukur dan dimasukkan ke dalam rumus untuk perhitungan  $D_{air}$ , maka nilai dosis yang diperoleh adalah absolut dan ionization chamber berfungsi sebagai dosimeter absolut (dengan catatan pengukuran dosis dilakukan pada kondisi yang standar).
- Apabila ionization chamber dikalibrasikan pada sebuah dosimeter referensi dan nilai muatan yang terukur olehnya dikorelasikan dengan nilai dosis yang terbaca pada referensinya, maka nilai dosis ionization chamber disini adalah relatif terhadap referensinya dan ionization chamber disini berfungsi sebagai dosimeter relatif.

## 2.5. Motor DC

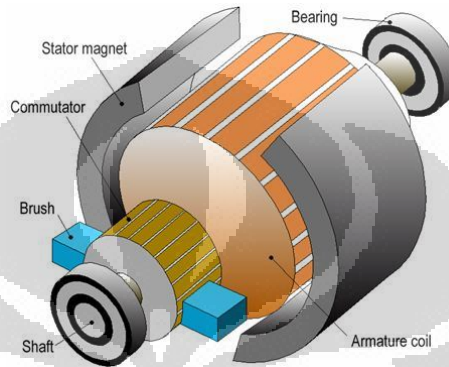
Motor DC adalah motor yang memerlukan suplai berupa tegangan searah pada kumparan jangkar dan kumparan medan untuk diubah menjadi energi mekanik. Pada motor DC, kumparan medan yang dialiri arus listrik akan menghasilkan medan magnet yang melingkupi kumparan jangkar dengan arah tertentu. Konverter energi baik energi listrik menjadi energi mekanik (motor) maupun sebaliknya dari energi mekanik menjadi energi listrik (generator) berlangsung melalui medium medan magnet. Energi yang akan diubah dari suatu sistem ke sistem yang lain, sementara akan tersimpan pada medium medan magnet untuk kemudian dilepaskan menjadi energi sistem lainnya. Dengan demikian, medan magnet disini selain berfungsi sebagai tempat penyimpanan energi juga sekaligus proses perubahan energi, dimana proses perubahan energi pada motor arus searah dapat digambarkan pada gambar 2-6 [5].



Gambar 2-6. Proses Konversi Energi Pada Motor DC

Motor DC memiliki prinsip kerja yaitu suatu penghantar yang berarus listrik dan ditempatkan dalam suatu medan magnet maka penghantar tersebut akan mengalami gaya. Prinsip kerja motor membutuhkan :

1. Adanya garis-garis gaya medan magnet (fluks), antara kutub yang berada di stator.
2. Penghantar yang berarus listrik yang ditempatkan dalam medan magnet tersebut.
3. Pada penghantar akan timbul gaya.



Gambar 2-7. Motor DC

Pada Motor DC didesain untuk memanfaatkan gaya magnet untuk menghasilkan gerak berputar yang kontinyu dan disusun oleh komponen-komponen :

- Stator magnet digunakan sebagai penghasil gaya magnet permanen. Dibentuk menyesuaikan bentuk housing motor dengan setengah lingkaran atau satu lingkaran penuh.
- Armature coil digunakan sebagai kumpulan penghantar (konduktor) yang digulung sedemikian rupa hingga dapat menghasilkan torsi yang optimum. Duduk pada yoke yang dipasang permanen terhadap shaft.
- Commutator digunakan sebagai jalur masuk dan keluarnya arus listrik pada armature coil. Terbuat dari tembaga yang tersekat antar segmen oleh bahan isolator seperti mika.
- Brush digunakan sebagai medium penyalur arus listrik dari sumber listrik ke commutator. Terbuat dari tembaga atau carbon dan didesain untuk lebih mudah aus dibandingkan dengan commutator.
- Bearing digunakan sebagai penyangga shaft pada housing motor.

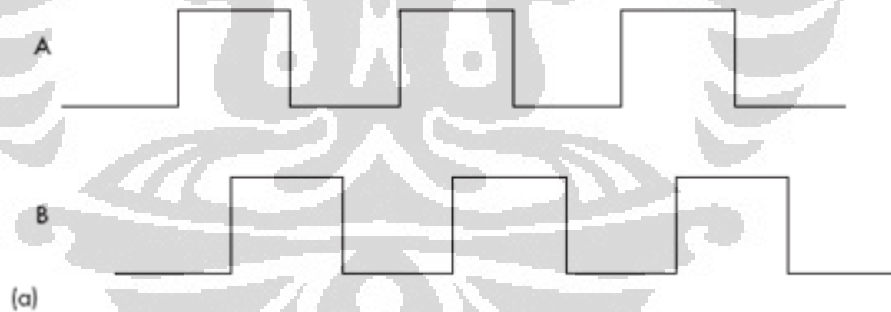
## 2.6. Sensor Shaft Encoder

Shaft encoder atau disebut juga rotary encoder berfungsi sebagai penghitung putaran suatu as (sumbu). Umumnya digunakan untuk menghitung putaran motor. Salah satu bentuk fisik shaft encoder ditunjukkan pada gambar 2-8.

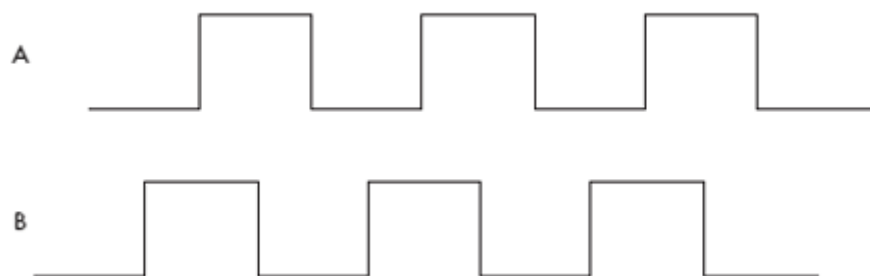


Gambar 2-8. Rotary Encoder

Encoder biasanya memiliki 2 keluaran, channel A dan channel B. Bentuk pulsa channel A dan B akan berbeda agar kita bisa membedakan arah putaran, apakah CW (clockwise) atau CCW (counter clockwise). Pada gambar 2-9 (a) ditunjukkan bentuk pulsa untuk arah putaran CW dan pada gambar 2-9 (b) ditunjukkan bentuk pulsa untuk arah putaran CCW.



Gambar 2-9a. Contoh output kedua channel dengan searah jarum jam (CW)



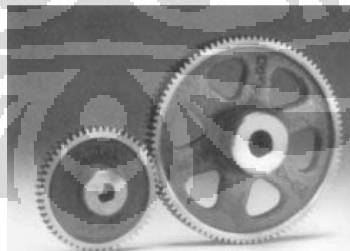
Gambar 2-9b. Contoh output kedua channel dengan berlawanan arah jarum jam (CCW)

Didalam shaft encoder terdapat sebuah led dan 2 buah photodioda sebagai detektor [6]. Detektor tersebut diletakkan sedemikian rupa agar dapat menghasilkan pola pulsa yang berbeda untuk masing – masing arah putaran. Pada bagian dalam shaft encoder terdapat rangkaian elektronik untuk menghasilkan pulsa. Adapun spesifikasinya adalah sebagai berikut :

- Model : ENS- 500-3-2
- Power supply : DC 5~28V+- 5%
- Black : Out A
- White : Out B
- Orange : Out Z
- Brown : +V
- Blue : 0V
- Shield : F, G
- Autonics, Korea

## 2.7. Gear

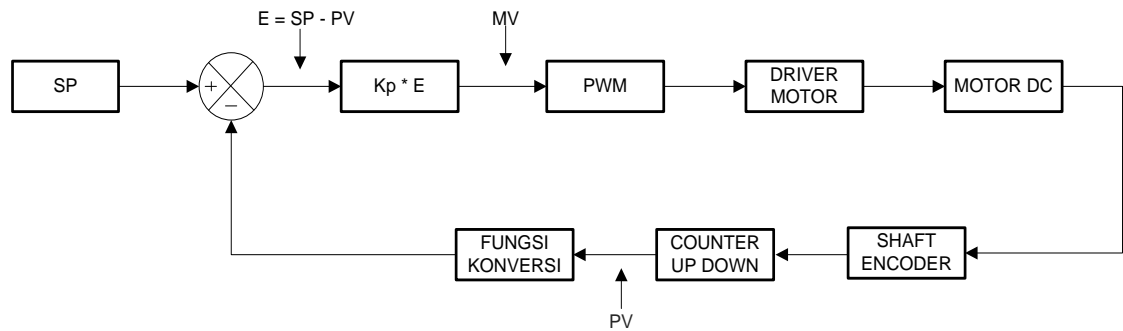
Gear atau roda gigi terdiri dari dua buah silinder yang menggelinding antara yang satu dengan yang lainnya tanpa ada gesekan atau slip. Dan dapat mengubah kecepatan rotasi dan torsi untuk digunakan pada motor dan beban.



Gambar 2-10. Gear

Gambar diatas dinamakan spur gear. Dimana power yang dikirim oleh sebuah gigi dari salah satu gear, kemudian mendorong berlawanan dengan gigi dari gear yang lain. Ketika 2 gear dengan diameter yang berbeda digabungkan, maka rotasi keduanya berada pada kecepatan yang berbeda.





Gambar 2-12. Blok Diagram Pengendalian Proporsional

Nilai SP sebagai input akan dibandingkan dengan PV terukur. Sehingga didapat error, error tersebut akan diproses dengan nilai  $K_p$  yang telah ditentukan dan menghasilkan MV. MV ini sebagai power untuk menggerakkan motor. Hasil proses yang terbaca dibandingkan kembali terhadap nilai SP. Sehingga nilai MV akan tergantung dari selisih SP dan PV.

## BAB 3

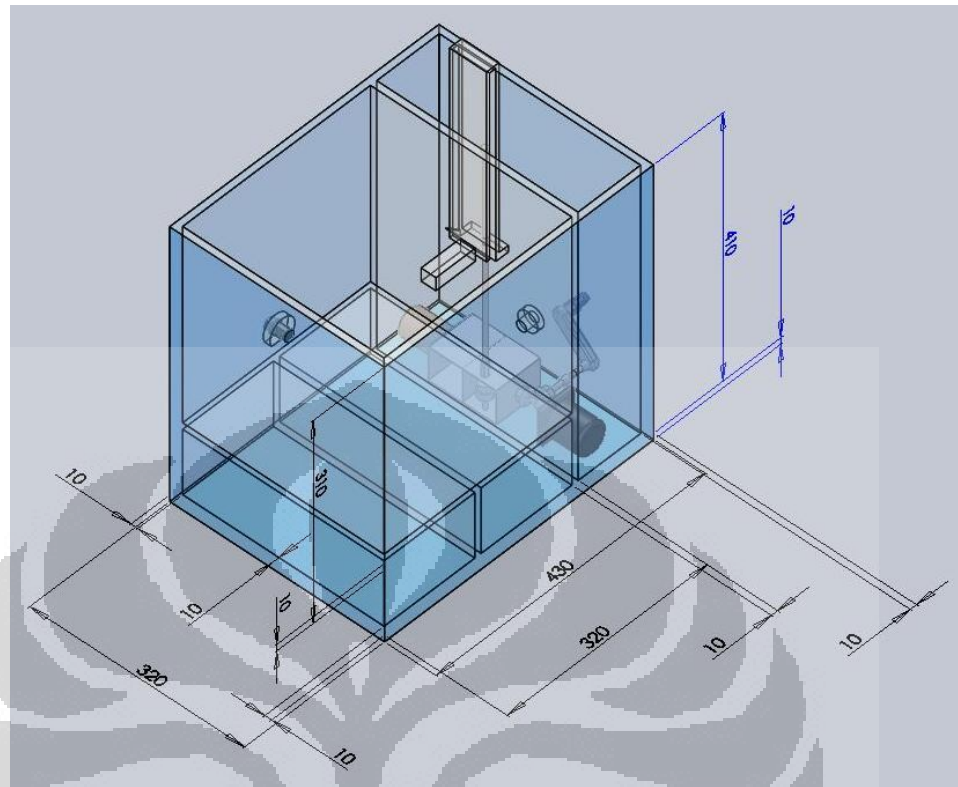
### PERANCANGAN DAN CARA KERJA SISTEM

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai perancangan sistem dan cara kerja secara keseluruhan baik mekanik, rangkaian dan program mikrokontroler dari alat-alat yang digunakan pada alat uji sistem pengendali ketinggian detektor.

#### 3.1. Konstruksi Mekanik

Pada sistem pengendali ketinggian detektor ini digunakan sebuah fantom air yang diasumsikan sebagai tubuh manusia. Dan pada fantom air terdapat sebuah motor DC 12V yang digunakan sebagai penggerak. Selain itu terdapat pula rotary encoder yang berfungsi untuk menghitung ketinggian. Motor dc dan rotary encoder dihubungkan dengan menggunakan gear dan disatukan dengan drat besi yang berhubungan dengan detektor. Bila motor dc berputar maka rotary encoder akan mulai mencacah dan menghitung ketinggian detektor. Antara drat besi dengan detektor menggunakan acrylic berbentuk U. Sehingga drat besi berada di sisi luar fantom dan tidak terkena air. Ketinggian detektor ini dikendalikan melalui komputer. Apabila terjadi pemadaman listrik, maka disediakan pengendali ketinggian detektor secara manual. fantom air ini berukuran 30 cm x 30 cm x 30 cm. Jarak SSD adalah 80 cm dan luas lapangan pada titik referensi chamber adalah 10 x 10 cm.

Ketika drat dijalankan oleh motor, maka sensor rotary encoder akan menghasilkan pulsa. Adapun metode pengendali ketinggian detektor yang digunakan ada 2, yaitu secara otomatis maupun manual. Apabila digunakan metode otomatis, maka semua dikendalikan melalui komputer.



Gambar 3-1. Konstruksi Mekanik

Keterangan Gambar :

1. Rotary Encoder
2. Motor DC
3. Drat besi
4. Pengendali ketinggian detektor secara manual
5. Sensor Suhu

### 3.2. Metode Pengambilan Data

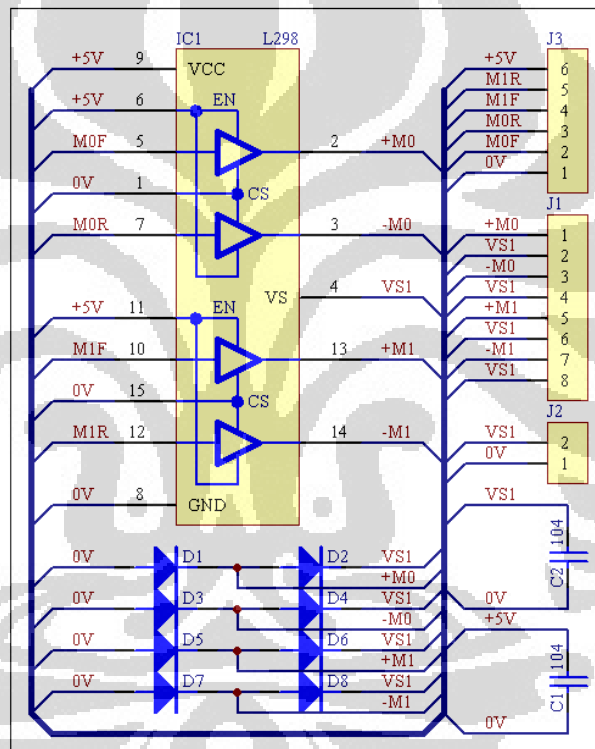
Sebelum dilakukan pengambilan data, detektor dan elektrometer yang akan digunakan dirangkai terlebih dahulu. Untuk detektor diletakkan pada ruang perlakuan pasien dan elektrometer diletakkan pada ruang operator. Setelah itu, operasional dosimeter diperiksa terlebih dahulu sehingga dapat digunakan untuk pengukuran. Fantom air diletakkan pada meja pasien. Kemudian mengisi fantom air dengan air secukupnya dan menempatkan detektor pada tempat yang disediakan pada fantom. Luas lapangan berkas radiasi diatur 10 cm x 10 cm pada permukaan air dengan jarak sumber-



permukaan SSD 80 cm dan menempatkan detektor pada kedalaman 5 sampai 10 cm dengan interval 0,5 cm pada titik efektif pengukuran dengan tepat. Lalu temperatur dan tekanan dicatat. Dosimeter disiapkan dengan pesawat teleterapi Co- 60. Kemudian dilakukan paparan.

### 3.3. Perancangan Rangkaian

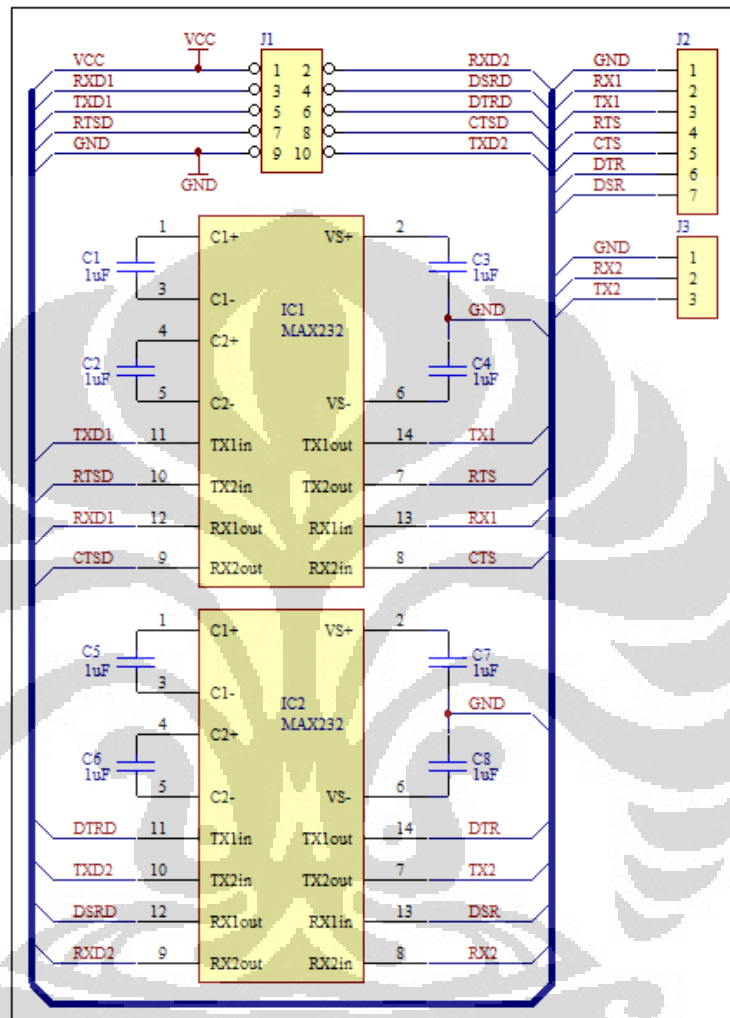
Ada 3 rangkaian utama yang digunakan pada sistem pengendali ketinggian detektor yaitu rangkaian pengendali, rangkaian komunikasi RS232 dan rangkaian driver motor.



Gambar 3-2. Rangkaian Driver Motor

IC yang digunakan adalah L298 yang dapat digunakan untuk beban 2A kontinu dengan tegangan maksimal 50 volt tetapi supply beban yang digunakan pada skripsi ini hanya 12V. Pada gambar 3-2 adalah konfigurasi rangkaian driver motor 2 arah untuk 2 motor tapi karena pada tugas akhir ini hanya menggunakan 1 motor saja maka hanya 2 pin saja yang digunakan yaitu pin +M0 dan -M0. Pin - pin ini akan masuk ke pin PWMA dan PWMB mikrokontroler. Kabel positif motor dihubungkan ke +M0 dan kabel negatif motor dihubungkan ke -M0 sehingga motor dapat berputar searah jarum

jam maka  $PWMA = 1$  dan  $PWMB = 0$  agar output di pin  $+M0 = 12V$  dan  $-M0 = 0V$ , demikian juga sebaliknya.



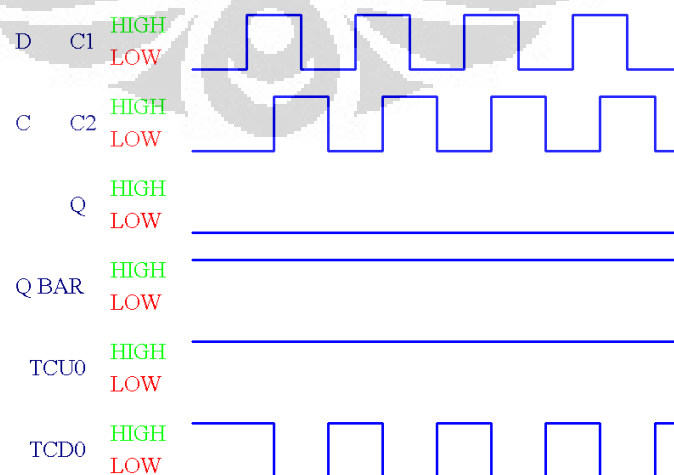
Gambar 3-3. Rangkaian Komunikasi RS232

Komunikasi sinkron dapat disebut sebagai komunikasi handshake. Dimana sebelum pengiriman data harus ada sinyal yang di set terlebih dahulu. DTE sebagai mikrokontroler dan DCE sebagai electrometer. Sebelum DTE menerima data, DTE harus mengirim sinyal high dari pin RTS ke DSR electrometer. Setelah itu pin DTR mikrokontroler akan mengirim sinyal high ke CTS electrometer. Kemudian mikrokontroler akan mulai membaca data yang dikirimkan oleh electrometer. Pada komunikasi asinkron, pengiriman data harus diawali dengan start bit dan diakhiri

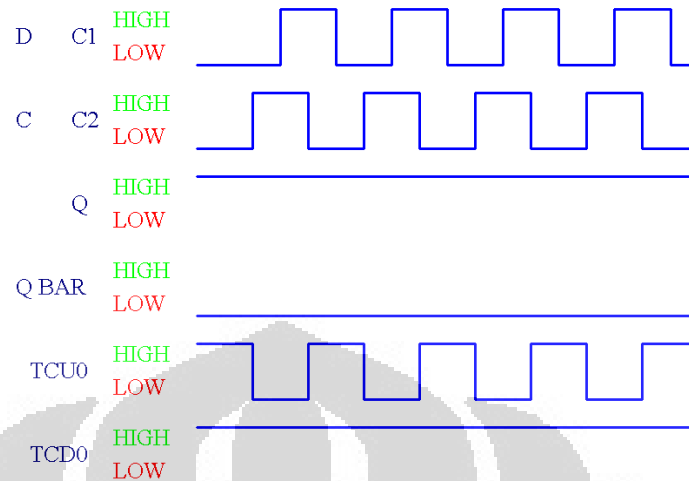
dengan stop bit. Penerima hanya perlu mendeteksi adanya start bit sebagai awal pengiriman data, selanjutnya komunikasi data terjadi antar mikrokontroler dengan electrometer tersebut.

Pada Gambar 3-6 adalah rangkaian pengendali dan terdapat IC 4052 dimana IC ini adalah multiplexer analog 2 channel parallel (channel X dan channel Y). Channel X terdiri dari X0-X3 sebagai input dan X sebagai output. Channel Y terdiri dari Y0-Y3 sebagai input dan Y sebagai output. Pin A dan B digunakan sebagai selektor inputan mana yang ingin dikeluarkan ke X atau Y. Pin RXD1 dan TXD1 digunakan untuk jalur RS232 sinkron. Pin RXD2 dan pin TXD2 sebagai jalur RS232 asinkron yang akan dihubungkan ke PC.

Selain itu, rangkaian ini terdiri dari 1 blok D FLIP-FLOP (74LS74), 2 gerbang NAND (74LS00) dan 2 resistor sebagai Pull Up. Tujuan rangkaian ini adalah untuk mengubah output 2 pulsa dari rotary encoder menjadi 1 pulsa saja tergantung arah putarannya, dengan begitu rangkaian counter akan menjadi lebih mudah. C1 dan C2 adalah output dari rotary encoder (sinyal A dan sinyal B), TCU0 dan TCD0 adalah output yang sudah dikondisikan. Bila rotary encoder berputar searah jarum jam maka TCD0 akan mengeluarkan pulsa dan TCU0 akan selalu high begitu juga sebaliknya bila rotary encoder berputar berlawanan arah jarum jam maka TCD0 akan selalu high dan TCU0 akan mengeluarkan pulsa. Gambar 32 adalah gambar output saat rotary encoder berputar searah jarum jam gambar 33 adalah gambar output saat rotary encoder berputar berlawanan arah jarum jam.



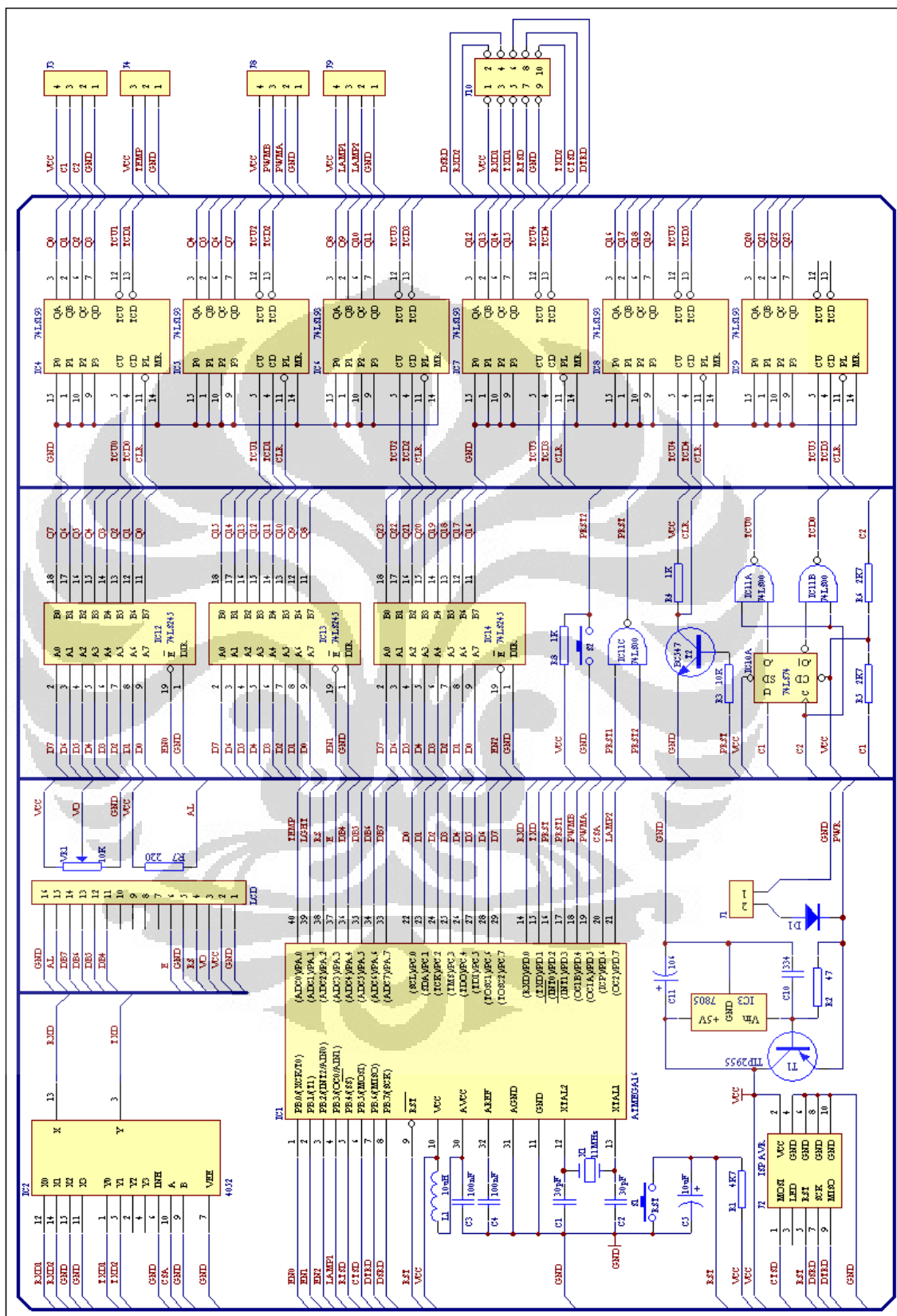
Gambar 3-4. Rotary Encoder berputar searah jarum jam



Gambar 3-5. Rotary Encoder berputar berlawanan arah jarum jam

Pada rangkaian counter 24 bit terdiri dari 6 buah IC 74LS193, 74LS193 adalah IC UpDown counter 4 bit. IC ini memiliki 2 input untuk up counter dan down counter, 4 bit output QA – QD dan 2 pin carry untuk up dan down counter bila cacahan sudah overflow. Untuk mendapatkan cacahan sampai 24 bit atau 16777216 maka IC 74LS193 pertama, pin TCU-nya dihubungkan ke pin CU IC 74LS193 kedua dan pin TCD IC 74LS193 pertama dihubungkan ke CD IC 74LS193 kedua dengan begitu setiap 15 pulsa akan mentrigger pin TCU atau TCD tergantung mana yang overflow lalu IC 74LS193 kedua akan mencacah.

Pada rangkaian selektor data counter menggunakan 3 buah IC 74LS245, 74LS245 adalah tri-state IC buffer 2 arah. Untuk mengatur arah aliran data menggunakan pin DIR yang jika diberi low maka arah aliran datanya dari B ke A. pin E (Enable) adalah aktif low digunakan untuk mengalirkan data dari B ke A jika diberi high maka pin A0 – A7 akan high impedansi atau ambang. Konfigurasi seperti ini odigunakan untuk mengambil data 3 byte yang dihasilkan oleh 6 IC 74LS193 sehingga bisa dibaca per byte oleh mikrokontroler.



Gambar 3-4. Rangkaian Pengendali

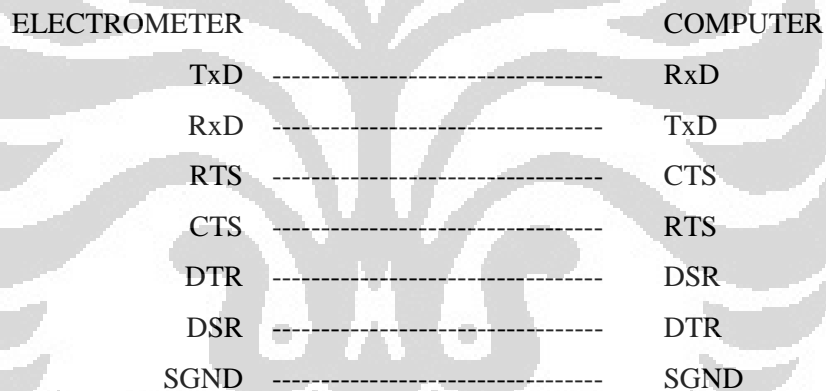
Berikut adalah tabel fungsi- fungsi tiap pin pada ATMEGA16:

Tabel 3-1. Fungsi Tiap Pin ATMEGA 16

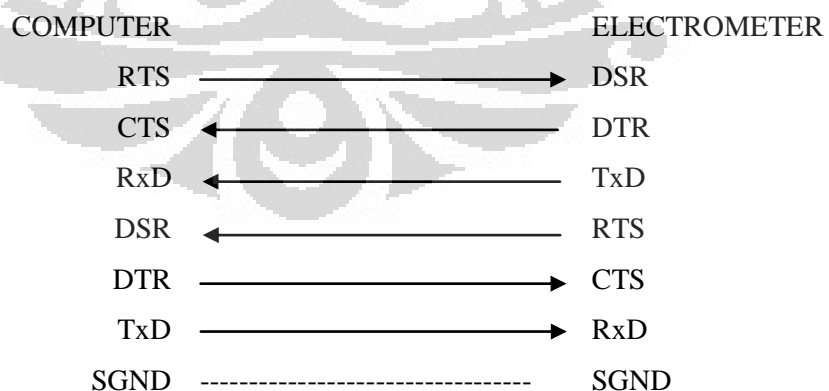
No.	Nama Pin	Fungsi Pin
1	PA0	INPUT LM35
2	PA1	NOT USED
3	PA2	RESERVED FOR LCD
4	PA3	RESERVED FOR LCD
5	PA4	RESERVED FOR LCD
6	PA5	RESERVED FOR LCD
7	PA6	RESERVED FOR LCD
8	PA7	RESERVED FOR LCD
9	PC0	DATA COUNTER BIT 0
10	PC1	DATA COUNTER BIT 1
11	PC2	DATA COUNTER BIT 2
12	PC3	DATA COUNTER BIT 3
13	PC4	DATA COUNTER BIT 4
14	PC5	DATA COUNTER BIT 5
15	PC6	DATA COUNTER BIT 6
16	PC7	DATA COUNTER BIT 7
17	PD0	KOMUNIKASI SERIAL RX
18	PD1	KOMUNIKASI SERIAL TX
19	PD2	INPUT PRESET
20	PD3	MERESET COUNTER (74LS193)
21	PD4	KENDALI MOTOR
22	PD5	KENDALI MOTOR
23	PD6	NOT USED
24	PD7	LIMIT SWITCH
25	PB0	ENABLE BACA DATA BYTE KE 1
26	PB1	ENABLE BACA DATA BYTE KE 2

No.	Nama Pin	Fungsi Pin
27	PB2	ENABLE BACA DATA BYTE KE 3
28	PB3	NOT USED
29	PB4	KOMUNIKASI SERIAL SINKRON
30	PB5	KOMUNIKASI SERIAL SINKRON
31	PB6	KOMUNIKASI SERIAL SINKRON
32	PB7	KOMUNIKASI SERIAL SINKRON

Dari tabel diatas terdapat komunikasi serial sinkron dan asinkron. Pada awal perencanaan, komunikasi sinkron ini digunakan untuk komunikasi dengan electrometer. Tetapi pada akhirnya komunikasi ini tidak digunakan karena terdapat kesalahan konfigurasi pin di datasheet electrometer.



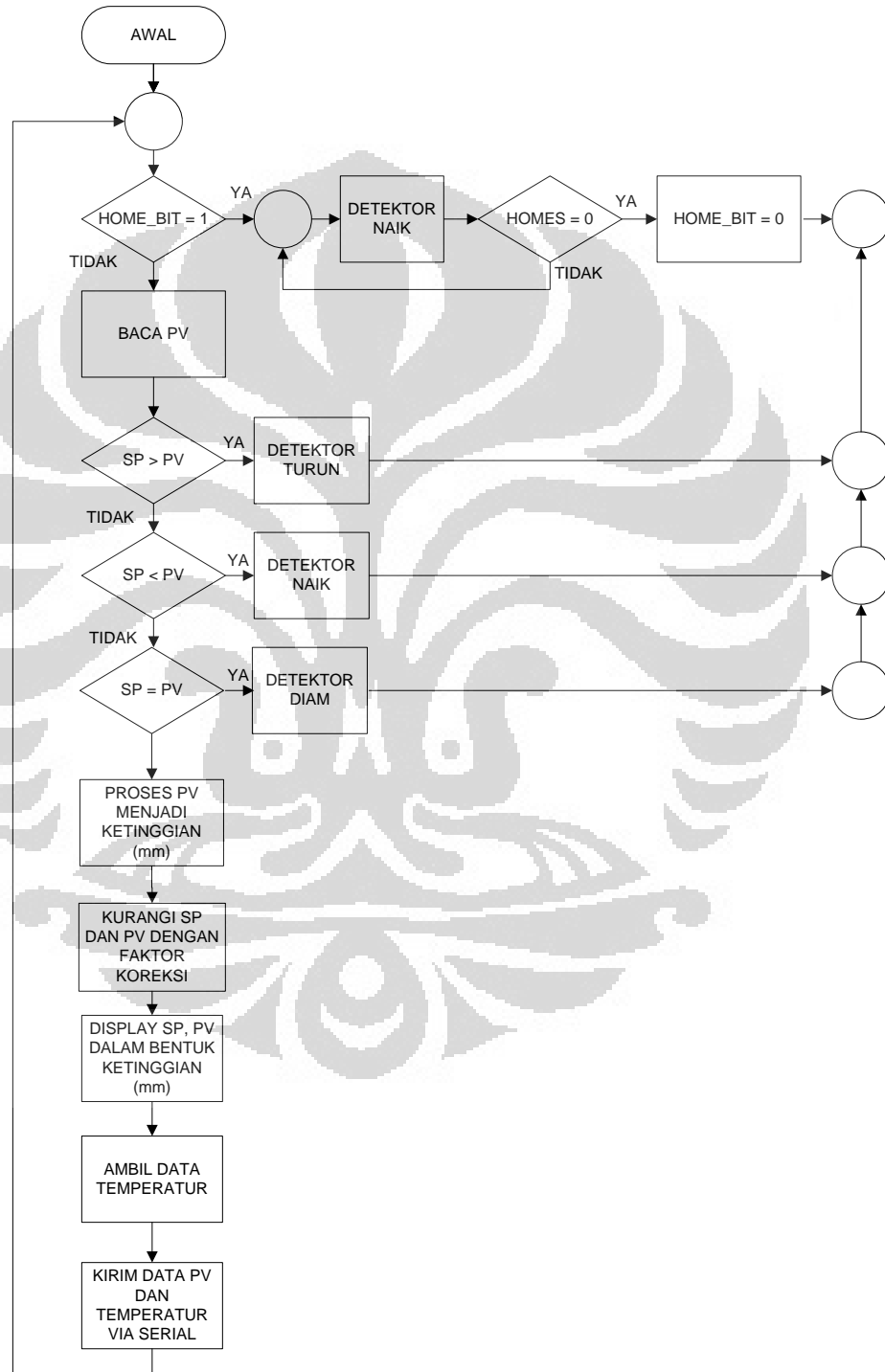
Sedangkan konfigurasi pin yang seharusnya adalah sebagai berikut :



Alasan lain komunikasi sinkron tidak digunakan adalah karena keterbatasan waktu dalam test program pembacaan electrometer.

### 3.4. Cara Kerja Alat

Ketika Set Point lebih besar dari proses variabel maka detektor akan turun . Nilai SP didapat dari LabView. Cara kerja fantom ini dijelaskan dengan *flowchart* pada gambar berikut :

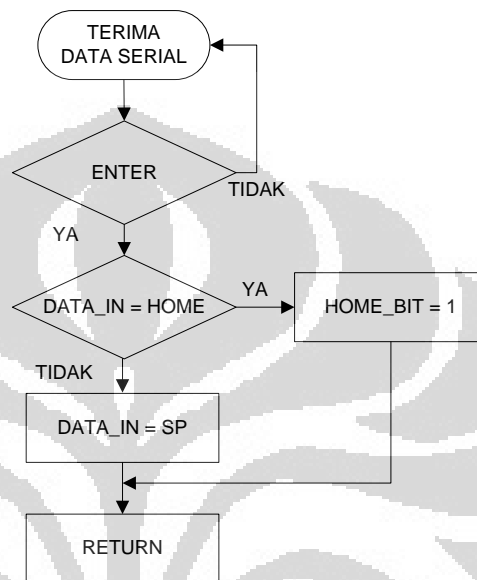


Gambar 3-5. *Flowchart Main Loop*



Dari gambar 3-5, faktor koreksi yang digunakan adalah 10 mm dikarenakan adanya perbedaan antara indikator dengan letak detektor. Adapun letak detektor berada diatas indikator sehingga hasil pembacaan sebenarnya harus dikurangi dengan faktor koreksi.

*Flowchart* terima data setpoint dari LabView adalah sebagai berikut :



Gambar 3-6. *Flowchart Interrupt Serial*

Jika pin RX di ATMEGA16 menerima data maka akan ada proses baca setpoint yang dikirim oleh LabView. Proses penerimaan setpoint ini akan berakhir sampai ATMEGA16 menerima data ENTER (Carriage Return). Setelah itu data\_in dalam format string akan diubah menjadi data value. Dan program akan kembali ke main loop.

## BAB 4

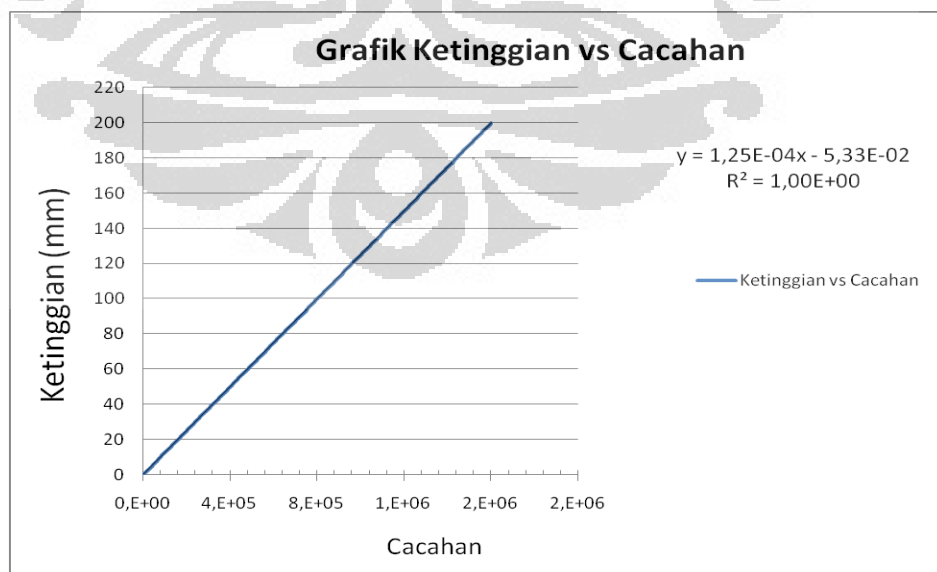
### DATA DAN ANALISA

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai cara mendapatkan pengambilan data dan analisa yang didapat secara keseluruhan baik mekanik dan hardware dari alat-alat yang digunakan pada alat uji sistem pengendali ketinggian detektor pada fantom air.

#### 4.1. Data Sensor

Untuk mengetahui berapa pulsa yang dihasilkan oleh sensor shaft encoder dalam setiap interval ketinggian 1 mm adalah dengan membuat program untuk menghitung pulsa. Kemudian ditampilkan ke LCD sebagai display. Pengambilan data ini dilakukan selama 6 kali dengan range 20 cm. Hal tersebut dilakukan agar hasil yang didapat lebih presisi. Maka data yang diperoleh terdapat pada tabel 4-1 dalam lampiran.

Apabila dilihat pada data tabel 4-1, dengan pengambilan data 6 kali dengan range 20 cm, hasil pulsa yang didapat adalah 1603991. Dan dapat dinyatakan bahwa semakin tinggi interval ketinggian detektor maka cacahannya pun akan semakin besar. Dan dapat dikatakan bahwa hasil data diatas adalah mendekati linier. Dan dapat dilihat pada grafik berikut 4-1.



Grafik 4-1. Grafik Ketinggian vs Cacahan

Berdasarkan tabel 4-1 maka didapat persamaan garis yaitu  $y = 1,25E-04x - 5,33E-02$ . Dimana  $y$  adalah ketinggian dan  $x$  adalah cacahan pulsa. Rumus tersebut diubah menjadi program mikrokontroler untuk mengubah data cacahan sensor rotary encoder menjadi ketinggian (mm). Dengan rumus tersebut didapat berapa cacahan yang dibutuhkan untuk menghasilkan pembacaan 1 mm yang tepat yaitu 8026. Konstanta ini akan digunakan sebagai faktor pengali dan pembagi pada LabView (PC).

#### 4.2. Data Hasil Setpoint dan Proses Variabel

Pada tabel 4-2.1 dan 4-2.2 dalam lampiran adalah tabel penurunan dan kenaikan ketinggian detektor dengan interval 1 mm dan dapat terlihat ketepatan pembacaan dari LCD dan penggaris. Dan hasil pembacaan antara set point dengan proses variabel adalah mendekati sama. Bila dilihat dari tabel 4-2.1, nilai error terbesar dalam bentuk cacahan adalah 9. Nilai error tersebut sangat kecil sehingga dapat diabaikan. Nilai positif dan negatif pada error menunjukkan bahwa bila positif berarti SP lebih besar daripada PV. Dan pada tabel 2-2.2, nilai error terbesar adalah 9 dan sama seperti tabel 4-2.1 sehingga dapat diabaikan. Maka, hasil pembacaan antara SP, PV (LabView) dan penggaris tidak jauh berbeda.

#### 4.3. Data Percentage Depth Dose (PDD)

Untuk mendapatkan nilai PDD pada kedalaman tertentu adalah dengan mengambil data paparan. Dari paparan yang didapat, maka nilai PDD pun dapat dicari. Data ini diperoleh dengan kedalaman yang berbeda-beda. Adapun data detektor, elektrometer, suhu dan tekanan yang digunakan terdapat pada tabel 4-3 dalam lampiran.

Untuk mendapatkan nilai PDD maka dicari  $d_{max}$  terlebih dahulu. Muatan yang didapat pada kedalaman 5 cm adalah 22,77 nC dan PDD pada 5 cm adalah 78,2% maka nilai  $d_{max}$  adalah :

- $d_{\max} = \frac{PDD_{\max}}{PDD_{5cm}} \times d_{5cm}$
- $d_{\max} = \frac{100}{78,2} \times 22,77$
- $d_{\max} = 29,11 \text{ nC}$

Setelah didapat dosis pada kedalaman maksimum, maka PDD pada kedalaman tertentu dapat dicari dengan menjadikan  $d_{\max}$  sebagai acuan. Dan perhitungannya adalah sebagai berikut :

- $PDD_{\text{percobaan}} = \frac{D_{\text{percobaan}}}{D_{\max}} \times 100\%$

Adapun data muatan dan PDD pada kedalaman tertentu terdapat pada tabel 4-4 dalam lampiran. Maka didapat nilai PDD pada kedalaman yang telah dilakukan percobaan adalah sebagai berikut :

Tabel. 4-4. Data Kedalaman dan Percentage Depth Dose (PDD)

Kedalaman (cm)	PDD (%)
0,5	100,0
5,0	78,2
5,5	75,8
6,0	73,3
6,5	70,9
7,0	68,5
7,5	66,3
8,0	64,0
8,5	61,9
9,0	59,7
9,5	57,7
10,0	55,7

Dari tabel diatas dapat terlihat semakin dalam detektor maka PDD akan semakin kecil. Besarnya PDD ditentukan oleh energi, luas lapangan, kedalaman dan jarak. Jika

energi tinggi, kedalaman tinggi, daya tembus besar maka PDD akan kecil. Perbandingan PDD pada kedalaman tertentu dengan tabel PDD acuan adalah sebagai berikut :

Tabel. 4-5. Perbandingan PDD Percobaan vs PDD Acuan

Kedalaman (cm)	PDD Percobaan (%)	PDD Acuan (%)	Akurasi (%)	Standar Deviasi (%)
5,0	78,2	78,2	99,8	0,02
5,5	75,8	75,8	99,9	0,00
6,0	73,3	73,4	99,85	0,02
6,5	70,9	70,9	99,94	0,05
7,0	68,5	68,2	99,44	0,02
7,5	66,3	66,4	99,87	0,02
8,0	64,0	63,9	99,75	0,00
8,5	61,9	61,9	99,96	0,03
9,0	59,7	59,9	99,66	0,03
9,5	57,7	57,8	99,76	0,02
10,0	55,7	56,0	99,43	0,00

Setelah didapat perbandingan PDD percobaan dan PDD acuan, maka akurasi dan standar deviasi dapat dihitung. Akurasi untuk melihat seberapa besar penyimpangannya dari nilai acuan. Adapun persamaannya adalah sebagai berikut :

$$Akurasi = \frac{PDD_{percobaan} - PDD_{acuan}}{PDD_{acuan}}$$

Sedangkan standar deviasi untuk menentukan persebaran data dari rata-rata dari sekelompok data yang diambil dan persamaannya adalah :

$$StandarDeviasi = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Adapun akurasi yang paling rendah adalah 99,43% dan standar deviasi terbesar adalah 0,05%. Semakin kecil standar deviasi dan semakin tinggi nilai akurasi maka akan semakin bagus karena mendekati acuannya.

## BAB 5

### PENUTUP

Pada bab ini berisi kesimpulan dan saran dari keseluruhan pengambilan data pada sistem pengendali ketinggian detektor dan saran yang dapat digunakan untuk memperbaiki laporan penulis.

#### 5.1. Kesimpulan

- Sensor yang digunakan untuk mendeteksi ketinggian detector adalah sensor rotary encoder. Adapun pulsa yang dihasilkan untuk range 20 cm adalah 1.603.991 pulsa.
- Pulsa yang dihasilkan setiap 1 mm adalah 8026 pulsa.
- Selisih antara SP dan PV (LabView) tidak jauh berbeda, error yang paling besar adalah 9 cacahan.
- Hasil PDD menggunakan fantom air ini tidak jauh berbeda dengan PDD acuan, dengan akurasi yang paling rendah adalah 99,43% dan standar deviasi paling besar adalah 0,05%.

#### 5.2. Saran

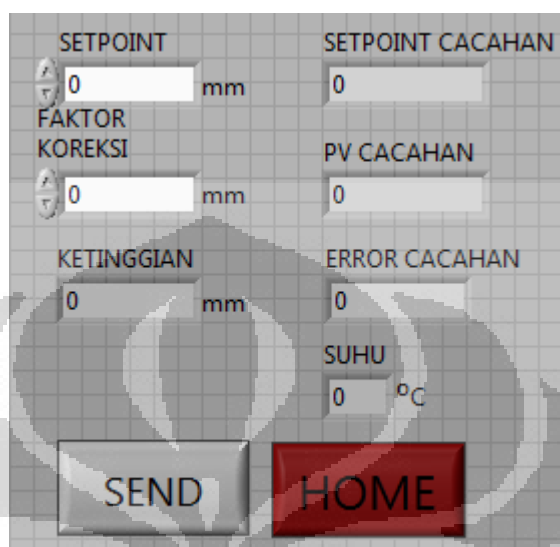
Apabila ingin membuat sistem pengendali ketinggian detektor pada fantom air, untuk mempermudah user dapat ditambahkan fitur pergerakan detektor 3 dimensi dan remote dapat digunakan sebagai pengendali ketinggian tambahan.

**DAFTAR ACUAN**

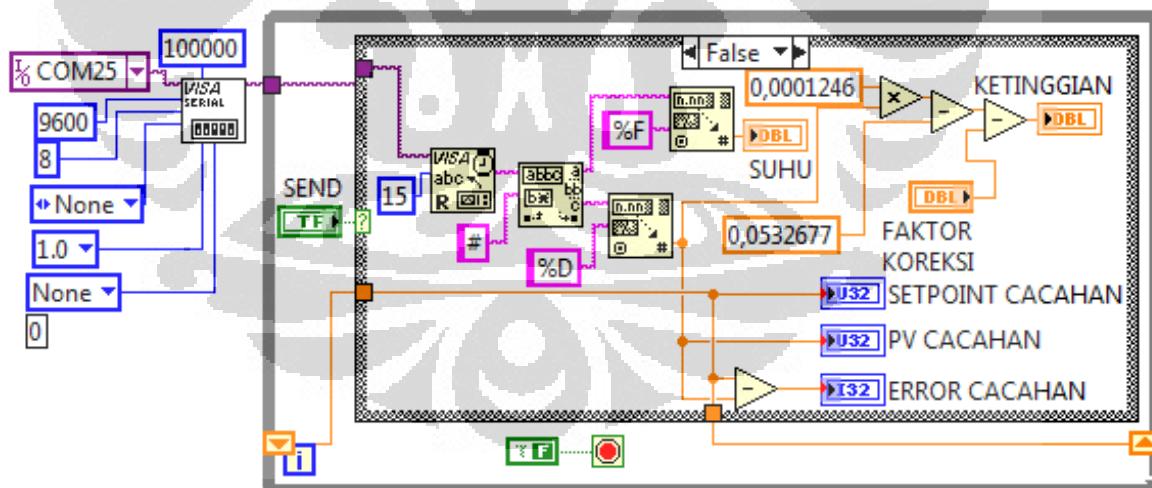
1. Cunningham, John Robert, Harold Elford Johns. *The Physisc of Radiology fourth edition*. USA: Charles C Thomas Publisher.1983
2. Podgorsak, E.B. *Radiation Oncology Physics : A Handbook for Teachers and Students*. Austria: IAEA. 2005
3. Attix, Frank Herbert. *Introduction To Radiological Physiscs and Radiation Dosimetry*. USA: John Wiley & Sons, Inc. 1986
4. Wells, Lisa K. *The LabVIEW Student Edition User's Guide*. New Jersey: Prentice-Hall,Inc. 1995
5. Soejono. *Motor dan Generator*. Jakarta: Erlanga. 2004
6. Putra, Agfianto Eko. *Belajar Mikrokontroler*. Yogyakarta: Gava Media.2004
7. Seborg, Dale E, Thomas S.Edgar and Duncana. *Process Dynamics and Control*. USA: Mellychamp.1989



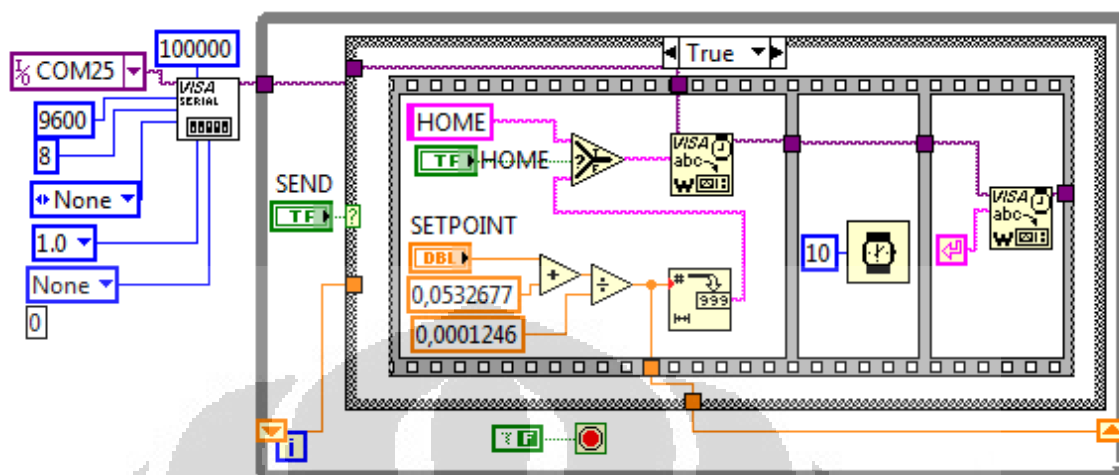




Gambar 1. Front Panel LabView



Gambar 2. Blok Diagram False LabView



Gambar 3. Blok Diagram True LabView

Tabel 4-1. Data Pulsa Sensor

Cacahan	Ketinggian (mm)	Cacahan	Ketinggian (mm)
0	0	811573	101
8344	1	819036	102
16682	2	827397	103
24442	3	834762	104
32770	4	843663	105
40430	5	851596	106
48562	6	859288	107
56285	7	867284	108
64246	8	875504	109
72591	9	882797	110
80474	10	891591	111
88371	11	899205	112
96724	12	907376	113
104457	13	915581	114
113065	14	923774	115
120354	15	931417	116
128337	16	939473	117
135943	17	947835	118
144750	18	955453	119
152953	19	963354	120
160462	20	971864	121
168262	21	979397	122
176604	22	987568	123
185014	23	995474	124
193100	24	1003589	125
200385	25	1011561	126
207880	26	1019081	127
216495	27	1027936	128
224728	28	1035406	129
232594	29	1043778	130
240878	30	1051194	131
248816	31	1059853	132
256768	32	1067825	133
264710	33	1076077	134
273350	34	1083619	135
280889	35	1091911	136
288505	36	1099887	137
296987	37	1108193	138
305300	38	1115470	139

Cacahan	Ketinggian (mm)
313527	39
321316	40
329227	41
337154	42
345256	43
353419	44
361582	45
369217	46
376661	47
385019	48
393389	49
400836	50
409072	51
417447	52
425204	53
433508	54
441325	55
449155	56
457198	57
465638	58
474178	59
482081	60
489883	61
498234	62
506275	63
513725	64
522598	65
529857	66
537754	67
545788	68
553626	69
561983	70
569971	71
578100	72
586375	73
594162	74
602514	75
610067	76
618117	77
625873	78
634546	79

Cacahan	Ketinggian (mm)
1123742	140
1131728	141
1140105	142
1147812	143
1155860	144
1163844	145
1171696	146
1180729	147
1188606	148
1196254	149
1204330	150
1212660	151
1220535	152
1226956	153
1236357	154
1244085	155
1252131	156
1260333	157
1268528	158
1276650	159
1283823	160
1292426	161
1300383	162
1308465	163
1316115	164
1323857	165
1331718	166
1339886	167
1348681	168
1356440	169
1363943	170
1372528	171
1380392	172
1388370	173
1396284	174
1404298	175
1412367	176
1420121	177
1428587	178
1436386	179
1443978	180

Cacahan	Ketinggian (mm)
643120	80
650804	81
658316	82
666926	83
674910	84
682864	85
690661	86
699041	87
707138	88
715141	89
723323	90
731199	91
739560	92
747583	93
755469	94
763512	95
770983	96
779237	97
787410	98
795402	99
803260	100

Cacahan	Ketinggian (mm)
1452156	181
1460258	182
1468204	183
1475714	184
1483759	185
1492573	186
1500290	187
1508378	188
1516447	189
1524048	190
1532732	191
1540087	192
1548302	193
1555915	194
1564621	195
1571993	196
1580012	197
1588263	198
1596176	199
1603991	200

Tabel. 4-2.1. Data Hasil Setpoint dan Proses Variabel Turun

SP		PV		ERROR	Penggaris
mm	cacahan	mm	cacahan	cacahan	
0	428	0	425	3	Tepat
1	8453	1	8453	0	Tepat
2	16479	2	16476	3	Tepat
3	24505	3	24509	-4	Tepat
4	32530	4	32527	3	Tepat
5	40556	5	40555	1	Tepat
6	48582	6	48588	-6	Tepat
7	56607	7	56609	-2	Tepat
8	64633	8	64632	1	Tepat
9	72659	9	72656	3	Tepat
10	80684	10	80689	-5	Tepat
11	88710	11	88714	-4	Tepat
12	96736	12	96739	-3	Tepat
13	104761	13	104768	-7	Tepat
14	112787	14	112780	7	Tepat
15	120813	15	120816	-3	Tepat
16	128838	16	128834	4	Tepat
17	136864	17	136858	6	Tepat
18	144890	18	144892	-2	Tepat
19	152915	19	152916	-1	Tepat
20	160941	20	160940	1	Tepat
21	168967	21	168965	2	Tepat
22	176993	22	176987	6	Tepat
23	185018	23	185026	-8	Tepat
24	193044	24	193049	-5	Tepat
25	201070	25	201069	1	Tepat
26	209095	26	209090	5	Tepat
27	217121	27	217119	2	Tepat
28	225147	28	225152	-5	Tepat
29	233172	29	233175	-3	Tepat
30	241198	30	241196	2	Tepat
31	249224	31	249223	1	Tepat
32	257249	32	257248	1	Tepat
33	265275	33	265277	-2	Tepat
34	273301	34	273302	-1	Tepat
35	281326	35	281319	7	Tepat

SP		PV		ERROR	Penggaris
mm	cacahan	mm	cacahan	cacahan	
36	289352	36	289343	9	Tepat
37	297378	37	297373	5	Tepat
38	305403	38	305400	3	Tepat
39	313429	39	313432	-3	Tepat
40	321455	40	321459	-4	Tepat
41	329480	41	329478	2	Tepat
42	337506	42	337503	3	Tepat
43	345532	43	345526	6	Tepat
44	353558	44	353563	-5	Tepat
45	361583	45	361586	-3	Tepat
46	369609	46	369607	2	Tepat
47	377635	47	377634	1	Tepat
48	385660	48	385659	1	Tepat
49	393686	49	393688	-2	Tepat
50	401712	50	401713	-1	Tepat
51	409737	51	409736	1	Tepat
52	417763	52	417766	-3	Tepat
53	425789	53	425793	-4	Tepat
54	433814	54	433812	2	Tepat
55	441840	55	441839	1	Tepat
56	449866	56	449868	-2	Tepat
57	457891	57	457892	-1	Tepat
58	465917	58	465918	-1	Tepat
59	473943	59	473936	7	Tepat
60	481968	60	481959	9	Tepat
61	489994	61	489997	-3	Tepat
62	498020	62	498024	-4	Tepat
63	506045	63	506043	2	Tepat
64	514071	64	514065	6	Tepat
65	522097	65	522105	-8	Tepat
66	530123	66	530128	-5	Tepat
67	538148	67	538146	2	Tepat
68	546174	68	546175	-1	Tepat
69	554200	69	554193	7	Tepat
70	562225	70	562228	-3	Tepat
71	570251	71	570255	-4	Tepat
72	578277	72	578275	2	Tepat

SP		PV		ERROR	Penggaris
mm	cacahan	mm	cacahan	cacahan	
73	586302	73	586303	-1	Tepat
74	594328	74	594329	-1	Tepat
75	602354	75	602347	7	Tepat
76	610379	76	610382	-3	Tepat
77	618405	77	618409	-4	Tepat
78	626431	78	626429	2	Tepat
79	634456	79	634460	-4	Tepat
80	642482	80	642480	2	Tepat
81	650508	81	650509	-1	Tepat
82	658533	82	658534	-1	Tepat
83	666559	83	666560	-1	Tepat
84	674585	84	674578	7	Tepat
85	682610	85	682604	6	Tepat
86	690636	86	690644	-8	Tepat
87	698662	87	698667	-5	Tepat
88	706688	88	706692	-4	Tepat
89	714713	89	714711	2	Tepat
90	722739	90	722740	-1	Tepat
91	730765	91	730763	2	Tepat
92	738790	92	738784	6	Tepat
93	746816	93	746824	-8	Tepat
94	754842	94	754847	-5	Tepat
95	762867	95	762868	-1	Tepat
96	770893	96	770890	3	Tepat
97	778919	97	778913	6	Tepat
98	786944	98	786949	-5	Tepat
99	794970	99	794973	-3	Tepat
100	802996	100	802997	-1	Tepat
101	811021	101	811022	-1	Tepat
102	819047	102	819040	7	Tepat
103	827073	103	827064	9	Tepat
104	835098	104	835101	-3	Tepat
105	843124	105	843128	-4	Tepat
106	851150	106	851144	6	Tepat
107	859176	107	859184	-8	Tepat
108	867201	108	867206	-5	Tepat
109	875227	109	875228	-1	Tepat
110	883253	110	883254	-1	Tepat



SP		PV		ERROR	Penggaris
mm	cacahan	mm	cacahan	cacahan	
111	891278	111	891279	-1	Tepat
112	899304	112	899297	7	Tepat
113	907330	113	907333	-3	Tepat
114	915355	114	915356	-1	Tepat
115	923381	115	923382	-1	Tepat
116	931407	116	931400	7	Tepat
117	939432	117	939426	6	Tepat
118	947458	118	947466	-8	Tepat
119	955484	119	955489	-5	Tepat
120	963509	120	963510	-1	Tepat
121	971535	121	971533	2	Tepat
122	979561	122	979562	-1	Tepat
123	987586	123	987579	7	Tepat
124	995612	124	995616	-4	Tepat
125	1003638	125	1003636	2	Tepat
126	1011663	126	1011664	-1	Tepat
127	1019689	127	1019687	2	Tepat
128	1027715	128	1027719	-4	Tepat
129	1035741	129	1035735	6	Tepat
130	1043766	130	1043774	-8	Tepat
131	1051792	131	1051797	-5	Tepat
132	1059818	132	1059823	-5	Tepat
133	1067843	133	1067844	-1	Tepat
134	1075869	134	1075870	-1	Tepat
135	1083895	135	1083896	-1	Tepat
136	1091920	136	1091913	7	Tepat
137	1099946	137	1099950	-4	Tepat
138	1107972	138	1107970	2	Tepat
139	1115997	139	1115994	3	Tepat
140	1124023	140	1124017	6	Tepat
141	1132049	141	1132054	-5	Tepat
142	1140074	142	1140075	-1	Tepat
143	1148100	143	1148101	-1	Tepat
144	1156126	144	1156119	7	Tepat
145	1164151	145	1164155	-4	Tepat
146	1172177	146	1172175	2	Tepat
147	1180203	147	1180204	-1	Tepat
148	1188228	148	1188233	-5	Tepat

SP		PV		ERROR	Penggaris
mm	cacahan	mm	cacahan	cacahan	
149	1196254	149	1196257	-3	Tepat
150	1204280	150	1204278	2	Tepat
151	1212306	151	1212307	-1	Tepat
152	1220331	152	1220329	2	Tepat
153	1228357	153	1228361	-4	Tepat
154	1236383	154	1236377	6	Tepat
155	1244408	155	1244401	7	Tepat
156	1252434	156	1252438	-4	Tepat
157	1260460	157	1260458	2	Tepat
158	1268485	158	1268486	-1	Tepat
159	1276511	159	1276509	2	Tepat
160	1284537	160	1284531	6	Tepat
161	1292562	161	1292570	-8	Tepat
162	1300588	162	1300593	-5	Tepat
163	1308614	163	1308615	-1	Tepat
164	1316639	164	1316636	3	Tepat
165	1324665	165	1324659	6	Tepat
166	1332691	166	1332696	-5	Tepat
167	1340716	167	1340719	-3	Tepat
168	1348742	168	1348746	-4	Tepat
169	1356768	169	1356766	2	Tepat
170	1364793	170	1364794	-1	Tepat
171	1372819	171	1372817	2	Tepat
172	1380845	172	1380846	-1	Tepat
173	1388871	173	1388872	-1	Tepat
174	1396896	174	1396897	-1	Tepat
175	1404922	175	1404915	7	Tepat
176	1412948	176	1412952	-4	Tepat
177	1420973	177	1420971	2	Tepat
178	1428999	178	1429003	-4	Tepat
179	1437025	179	1437023	2	Tepat
180	1445050	180	1445051	-1	Tepat
181	1453076	181	1453074	2	Tepat
182	1461102	182	1461103	-1	Tepat
183	1469127	183	1469125	2	Tepat
184	1477153	184	1477157	-4	Tepat
185	1485179	185	1485173	6	Tepat
186	1493204	186	1493197	7	Tepat

SP		PV		ERROR	Penggaris
mm	cacahan	mm	cacahan	cacahan	
187	1501230	187	1501224	6	Tepat
188	1509256	188	1509264	-8	Tepat
189	1517281	189	1517286	-5	Tepat
190	1525307	190	1525304	3	Tepat
191	1533333	191	1533327	6	Tepat
192	1541358	192	1541363	-5	Tepat
193	1549384	193	1549377	7	Tepat
194	1557410	194	1557414	-4	Tepat
195	1565436	195	1565434	2	Tepat
196	1573461	196	1573458	3	Tepat
197	1581487	197	1581488	-1	Tepat
198	1589513	198	1589514	-1	Tepat
199	1597538	199	1597531	7	Tepat
200	1605564	200	1605567	-3	Tepat

Tabel. 4-2.2. Data Hasil Setpoint dan Proses Variabel Naik

SP		PV		ERROR	Penggaris
mm	Cacahan	mm	cacahan	cacahan	
0	428	0	433	-5	Tepat
1	8453	1	8451	2	Tepat
2	16479	2	16480	-1	Tepat
3	24505	3	24498	7	Tepat
4	32530	4	32533	-3	Tepat
5	40556	5	40560	-4	Tepat
6	48582	6	48580	2	Tepat
7	56607	7	56608	-1	Tepat
8	64633	8	64634	-1	Tepat
9	72659	9	72652	7	Tepat
10	80684	10	80687	-3	Tepat
11	88710	11	88714	-4	Tepat
12	96736	12	96734	2	Tepat
13	104761	13	104768	-7	Tepat
14	112787	14	112780	7	Tepat
15	120813	15	120807	6	Tepat
16	128838	16	128843	-5	Tepat
17	136864	17	136867	-3	Tepat
18	144890	18	144888	2	Tepat
19	152915	19	152914	1	Tepat
20	160941	20	160940	1	Tepat
21	168967	21	168969	-2	Tepat
22	176993	22	176994	-1	Tepat
23	185018	23	185017	1	Tepat
24	193044	24	193046	-2	Tepat
25	201070	25	201071	-1	Tepat
26	209095	26	209096	-1	Tepat
27	217121	27	217114	7	Tepat
28	225147	28	225150	-3	Tepat
29	233172	29	233173	-1	Tepat
30	241198	30	241199	-1	Tepat
31	249224	31	249217	7	Tepat
32	257249	32	257248	1	Tepat
33	265275	33	265277	-2	Tepat
34	273301	34	273302	-1	Tepat
35	281326	35	281327	-1	Tepat

SP		PV		ERROR	Penggaris
mm	Cacahan	mm	cacahan	cacahan	
36	289352	36	289345	7	Tepat
37	297378	37	297381	-3	Tepat
38	305403	38	305404	-1	Tepat
39	313429	39	313430	-1	Tepat
40	321455	40	321448	7	Tepat
41	329480	41	329474	6	Tepat
42	337506	42	337514	-8	Tepat
43	345532	43	345537	-5	Tepat
44	353558	44	353559	-1	Tepat
45	361583	45	361581	2	Tepat
46	369609	46	369610	-1	Tepat
47	377635	47	377628	7	Tepat
48	385660	48	385664	-4	Tepat
49	393686	49	393684	2	Tepat
50	401712	50	401713	-1	Tepat
51	409737	51	409735	2	Tepat
52	417763	52	417766	-3	Tepat
53	425789	53	425793	-4	Tepat
54	433814	54	433812	2	Tepat
55	441840	55	441839	1	Tepat
56	449866	56	449867	-1	Tepat
57	457891	57	457889	2	Tepat
58	465917	58	465918	-1	Tepat
59	473943	59	473936	7	Tepat
60	481968	60	481972	-4	Tepat
61	489994	61	489992	2	Tepat
62	498020	62	498021	-1	Tepat
63	506045	63	506043	2	Tepat
64	514071	64	514074	-3	Tepat
65	522097	65	522101	-4	Tepat
66	530123	66	530121	2	Tepat
67	538148	67	538147	1	Tepat
68	546174	68	546176	-2	Tepat
69	554200	69	554201	-1	Tepat
70	562225	70	562228	-3	Tepat
71	570251	71	570255	-4	Tepat
72	578277	72	578278	-1	Tepat

SP		PV		ERROR	Penggaris
mm	Cacahan	mm	cacahan	cacahan	
73	586302	73	586295	7	Tepat
74	594328	74	594319	9	Tepat
75	602354	75	602357	-3	Tepat
76	610379	76	610383	-4	Tepat
77	618405	77	618399	6	Tepat
78	626431	78	626439	-8	Tepat
79	634456	79	634461	-5	Tepat
80	642482	80	642480	2	Tepat
81	650508	81	650507	1	Tepat
82	658533	82	658534	-1	Tepat
83	666559	83	666557	2	Tepat
84	674585	84	674586	-1	Tepat
85	682610	85	682603	7	Tepat
86	690636	86	690640	-4	Tepat
87	698662	87	698660	2	Tepat
88	706688	88	706692	-4	Tepat
89	714713	89	714711	2	Tepat
90	722739	90	722732	7	Tepat
91	730765	91	730769	-4	Tepat
92	738790	92	738788	2	Tepat
93	746816	93	746817	-1	Tepat
94	754842	94	754840	2	Tepat
95	762867	95	762870	-3	Tepat
96	770893	96	770896	-3	Tepat
97	778919	97	778923	-4	Tepat
98	786944	98	786942	2	Tepat
99	794970	99	794971	-1	Tepat
100	802996	100	802997	-1	Tepat
101	811021	101	811029	-8	Tepat
102	819047	102	819052	-5	Tepat
103	827073	103	827077	-4	Tepat
104	835098	104	835096	2	Tepat
105	843124	105	843125	-1	Tepat
106	851150	106	851151	-1	Tepat
107	859176	107	859184	-8	Tepat
108	867201	108	867206	-5	Tepat
109	875227	109	875224	3	Tepat
110	883253	110	883254	-1	Tepat

SP		PV		ERROR	Penggaris
mm	Cacahan	mm	cacahan	cacahan	
111	891278	111	891279	-1	Tepat
112	899304	112	899297	7	Tepat
113	907330	113	907333	-3	Tepat
114	915355	114	915356	-1	Tepat
115	923381	115	923382	-1	Tepat
116	931407	116	931406	1	Tepat
117	939432	117	939431	1	Tepat
118	947458	118	947460	-2	Tepat
119	955484	119	955485	-1	Tepat
120	963509	120	963508	1	Tepat
121	971535	121	971537	-2	Tepat
122	979561	122	979562	-1	Tepat
123	987586	123	987587	-1	Tepat
124	995612	124	995616	-4	Tepat
125	1003638	125	1003636	2	Tepat
126	1011663	126	1011664	-1	Tepat
127	1019689	127	1019687	2	Tepat
128	1027715	128	1027719	-4	Tepat
129	1035741	129	1035735	6	Tepat
130	1043766	130	1043770	-4	Tepat
131	1051792	131	1051790	2	Tepat
132	1059818	132	1059819	-1	Tepat
133	1067843	133	1067844	-1	Tepat
134	1075869	134	1075867	2	Tepat
135	1083895	135	1083896	-1	Tepat
136	1091920	136	1091925	-5	Tepat
137	1099946	137	1099944	2	Tepat
138	1107972	138	1107973	-1	Tepat
139	1115997	139	1115990	7	Tepat
140	1124023	140	1124020	3	Tepat
141	1132049	141	1132050	-1	Tepat
142	1140074	142	1140075	-1	Tepat
143	1148100	143	1148104	-4	Tepat
144	1156126	144	1156124	2	Tepat
145	1164151	145	1164152	-1	Tepat
146	1172177	146	1172178	-1	Tepat
147	1180203	147	1180197	6	Tepat
148	1188228	148	1188221	7	Tepat

SP		PV		ERROR	Penggaris
mm	Cacahan	mm	cacahan	cacahan	
149	1196254	149	1196258	-4	Tepat
150	1204280	150	1204278	2	Tepat
151	1212306	151	1212307	-1	Tepat
152	1220331	152	1220333	-2	Tepat
153	1228357	153	1228361	-4	Tepat
154	1236383	154	1236377	6	Tepat
155	1244408	155	1244401	7	Tepat
156	1252434	156	1252438	-4	Tepat
157	1260460	157	1260458	2	Tepat
158	1268485	158	1268486	-1	Tepat
159	1276511	159	1276512	-1	Tepat
160	1284537	160	1284530	7	Tepat
161	1292562	161	1292565	-3	Tepat
162	1300588	162	1300592	-4	Tepat
163	1308614	163	1308608	6	Tepat
164	1316639	164	1316647	-8	Tepat
165	1324665	165	1324670	-5	Tepat
166	1332691	166	1332688	3	Tepat
167	1340716	167	1340710	6	Tepat
168	1348742	168	1348747	-5	Tepat
169	1356768	169	1356767	1	Tepat
170	1364793	170	1364792	1	Tepat
171	1372819	171	1372823	-4	Tepat
172	1380845	172	1380843	2	Tepat
173	1388871	173	1388864	7	Tepat
174	1396896	174	1396900	-4	Tepat
175	1404922	175	1404920	2	Tepat
176	1412948	176	1412952	-4	Tepat
177	1420973	177	1420971	2	Tepat
178	1428999	178	1429003	-4	Tepat
179	1437025	179	1437023	2	Tepat
180	1445050	180	1445051	-1	Tepat
181	1453076	181	1453074	2	Tepat
182	1461102	182	1461103	-1	Tepat
183	1469127	183	1469128	-1	Tepat
184	1477153	184	1477152	1	Tepat
185	1485179	185	1485180	-1	Tepat
186	1493204	186	1493205	-1	Tepat



SP		PV		ERROR	Penggaris
mm	cacahan	mm	cacahan	cacahan	
187	1501230	187	1501223	7	Tepat
188	1509256	188	1509249	7	Tepat
189	1517281	189	1517286	-5	Tepat
190	1525307	190	1525304	3	Tepat
191	1533333	191	1533327	6	Tepat
192	1541358	192	1541363	-5	Tepat
193	1549384	193	1549388	-4	Tepat
194	1557410	194	1557408	2	Tepat
195	1565436	195	1565437	-1	Tepat
196	1573461	196	1573465	-4	Tepat
197	1581487	197	1581485	2	Tepat
198	1589513	198	1589517	-4	Tepat
199	1597538	199	1597536	2	Tepat
200	1605564	200	1605558	6	Tepat

Tabel 4-3. Spesifikasi Detektor

Detektor Ionization Farmer Chamber	Merk PTW TM 30013-0821
Tekanan Ruangan	1013 Pa
Suhu	20,5° C
Tegangan	400 kV
Polaritas	Negatif (-)
Luas Lapangan	10 x 10 cm
SSD	80 cm
Gantry	0°
Collimator	0°
T (waktu)	1 menit

Tabel. 4-4. Data PDD Pada Kedalaman Tertentu

Kedalaman Detektor (cm)	Muatan (nC)	Rata-Rata Muatan (nC)	PDD (%)
5	22,77	22,77	PDD <sub>5</sub> = 78,2
	22,76		
	22,77		
5,5	22,07	22,07	PDD <sub>5,5</sub> = 75,8
	22,07		
	22,07		
6	21,33	21,34	PDD <sub>6</sub> = 73,3
	21,34		
	21,34		
6,5	20,66	20,65	PDD <sub>6,5</sub> = 70,9
	20,63		
	20,65		
7	19,97	19,97	PDD <sub>7</sub> = 68,5
	19,96		
	19,97		
7,5	19,31	19,31	PDD <sub>7,5</sub> = 66,3
	19,3		
	19,31		
8	18,65	18,65	PDD <sub>8</sub> = 64,0
	18,65		
	18,65		
8,5	18,02	18,02	PDD <sub>8,5</sub> = 61,9
	18,03		
	18,01		
9	17,39	17,38	PDD <sub>9</sub> = 59,7
	17,37		
	17,38		
9,5	16,79	16,79	PDD <sub>9,5</sub> = 57,7
	16,78		
	16,79		
10	16,21	16,21	PDD <sub>10</sub> = 55,7
	16,21		
	16,21		

'SISTEM PENGENDALI KETINGGIAN DETEKTOR PADA FANTOM AIR  
 'FRANSISCA YULIA DIMITRI  
 '0706196563

```
$regfile = "m16def.dat"
$crystal = 8000000
$baud = 9600
Config Lcdpin = Pin , Db4 = Porta.4 , Db5 = Porta.5 , Db6 = Porta.6 , Db7 = Porta.7 , E
= Porta.3 , Rs = Porta.2
Config Lcd = 20 * 4
Config Timer1 = Pwm , Pwm = 10 , Compare A Pwm = Clear Down , Compare B Pwm
= Clear Down , Prescale = 256
Config Adc = Single , Prescaler = Auto , Reference = Internal
Cursor Off
```

```
Dim Hbyte_r As Byte
Dim Medbyte_r As Byte
Dim Lowbyte_r As Byte
Dim Hbyte As Long
Dim Medbyte As Word
Dim Lowbyte As Byte
Dim Pulsa As Long
Dim Pv As Long
Dim Depth As Single
Dim Depth_s As String * 15
Dim Sp As Long
Dim Sp_sl As Single
Dim Sp_s As String * 15
Dim E As Single
Dim Mv As Integer
Dim Kp As Single
Dim Fak_koreksi As Single
Dim Y As Single 'KETINGGIAN (mm)
Dim Data_in As String * 10
Dim Adc_val As Word
Dim S1 As Single
Dim S2 As Single
Dim S3 As Single
Dim Str1 As String * 5
Dim Home_bit As Bit
```

```
Config Portb.0 = Output
Config Portb.1 = Output
Config Portb.2 = Output
Config Portd.7 = Input
Config Portd.3 = Output
Config Portd.6 = Output
```

Config Portc = Input

Config Portd.4 = Output

Config Portd.5 = Output

On Urxc Serial\_in

Enable Urxc

Enable Interrupts

En0 Alias Portb.0

En1 Alias Portb.1

En2 Alias Portb.2

Homes Alias Pind.7

Prst1 Alias Portd.3

Csa Alias Portd.6

Rd\_data Alias Pinc

Start Adc

Fak\_koreksi = 10        '10mm

En0 = 1

En1 = 1

En2 = 1

Csa = 1

Prst1 = 0

Prst1 = 1

Portd.7 = 1

Pwm1a = 0

Pwm1b = 0

Kp = 2

Sp = 0                        'SP awal

Top:

Cls

Do

If Home\_bit = 1 Then

Goto Homes\_sub

Else

End If

En0 = 0

Lowbyte\_r = Rd\_data

En0 = 1

En1 = 0

Medbyte\_r = Rd\_data

En1 = 1

En2 = 0

Hibyte\_r = Rd\_data

En2 = 1

Lowbyte = Lowbyte\_r

Medbyte = Medbyte\_r

Hibyte = Hibyte\_r

Medbyte = 256 \* Medbyte

Medbyte = Medbyte + Lowbyte

Hibyte = 65536 \* Hibyte

Pulsa = Hibyte + Medbyte

Pv = Pulsa

Y = Pulsa \* 0.0001246

Y = Y - 0.0532677

If Pv >= 16000000 And Pv <= 16777215 Then

Pv = 16777215 - Pv

Pv = -1 \* Pv

Else

End If

E = Sp - Pv

Mv = Kp \* E

If Mv > 0 Then

If Mv > 1023 Then Mv = 1023

Pwm1a = Mv

'TURUN

Pwm1b = 0

Else

Mv = -1 \* Mv

If Mv > 1023 Then Mv = 1023

Pwm1a = 0

Pwm1b = Mv

'NAIK

End If

Sp\_sl = Sp \* 0.0001246

Sp\_sl = Sp\_sl - 0.0532677

Sp\_sl = Sp\_sl - Fak\_koreksi

Y = Y - Fak\_koreksi

```
Sp_s = Fusing(sp_sl , "####.#####")
Depth_s = Fusing(y , "####.#####")
Locate 1 , 1
Lcd "SP:" ; Sp_s ; "  "
```

```
Locate 2 , 1
Lcd "PV:" ; Depth_s ; "  "
```

```
Adc_val = Getadc(0)
S1 = Adc_val * 2.5
S2 = S1 / 1023
S3 = S2 * 100
Str1 = Fusing(s3 , "###.#")
Print Str1 ; "#" ; Pv
Loop
```

```
Homes_sub:
Cls
Lcd "HOME"
Do
  Pwm1a = 0
  Pwm1b = 1023
Loop Until Homes = 0
  Pwm1a = 0
  Pwm1b = 0
  Waitms 500
  Prst1 = 0
  Prst1 = 1
Home_bit = 0
Goto Top
```

```
Serial_in:
Disable Interrupts
Input Data_in
If Data_in = "HOME" Then
Home_bit = 1
Else
End If
Sp = Val(data_in)
Data_in = ""
Enable Interrupts
Return
```