



UNIVERSITAS INDONESIA

**RANCANG BANGUN ALAT UKUR DENSITAS DAN DOSIS
RADIASI SINAR-X PADA FILM BADGE DENGAN
MENGUNAKAN SENSOR CAHAYA CI-6504A
BERBASISKAN LABVIEW**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Strata Satu Fisika**

**CHARLES A MUNTHE
0305020225**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM STUDI FISIKA
PEMINATAN FISIKA INSTRUMENTASI DAN ELEKTRONIKA
DEPOK
JUNI 2011**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Charles A Munthe

NPM : 0305020225

Tanda Tangan : 

Tanggal : 30Juni 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : CHARLES A MUNTHE
NPM : 0305020225
Program Studi : Instrumentasi Elektronika S1
Judul Skripsi : Rancang Bangun Alat Ukur Densitas dan Dosis Radiasi Sinar-X pada Film Badge dengan Menggunakan Sensor Cahaya CI-6504A berbasis Labview

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Dr. Cuk Imawan

()

Penguji I : Dr. Santoso Soekirno

()

Penguji II : Dr. Dede Djuhana

()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 30 Juni 2011

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur hanya kepada Tuhan Yesus Kristus, Yang Maha Pengasih, yang selalu memberikan anugrah terindahya kepada penulis dan telah menuntun penulis dalam menyelesaikan skripsi ini dengan baik.

Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Sains Jurusan Fisika pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

Penulis menyadari bahwa, selesainya skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, dorongan dan doa yang tulus dari banyak pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini. Tanpa itu semua sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Untuk itu penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang setulus - tulusnya kepada:

1. Ayah dan Ibu, yang telah mendidik penulis dengan sangat istimewa. Terima kasih atas kepercayaan dan do'a tiada henti yang kalian berikan kepada anakmu ini. Bapa uda eva dan inang uda eva, Abang & Kakak Piter, Bang Hen dan adik-adek penulis yang lain, kakak-kakak dan adik-adik terbaik yang pernah ada.
2. Dr.ing. Cuk Imawan selaku dosen pembimbing yang telah membimbing penulis dalam segala hal, baik dalam ilmu pengetahuan, nasehat, dorongan, semangat, kesabarannya, serta segala fasilitas yang telah diberikan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Fisika atas segala ilmu dan bantuan teknis yang penulis peroleh selama menjadi mahasiswa Fisika UI Temen seperjuangan bimbingan, Mamed dan Andrew , d'best dah lu berdua. Juga temen-temen terbaik, temen-temen seperjuangan di instrumen 05, Imam, Dedy, Aha, Taqwa, Fandi Akhmad. Dan pendahulu instrument 05, Kurnadi, Panggih, Wahyu.
4. Instruwomen 05 yang paling cerewet.....Tiwi, Nurma, Idha... Dian Wulan Hastuti dan Maria Theodora yang lagi studi di Jepang, thanks banget dah jadi teman selama di fisika dan dipeminatan
5. Instrumen '06 dan '07, ayo lanjutkan perjuangan kita di Fisika Instrumentasi!

6. .Terima Kasih khusus buat seseorang yang selalu jadi motivasi penulis, walaupun yang bersangkutan mungkin gak tau. My pho-pho Lasria Pardede. Lanjutkan perjuangannya ya.. tetep semangat..^_^
7. Eva, Ucok, Sari dan Maria yang sering banget gangguin penulis kalo lagi serius ngerjain skripsi.
8. Semua orang yang sengaja atau tidak ikut membantu selesainya skripsi ini.

Dengan segala kerendahan hati, penulis masih menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan tugas akhir ini. Oleh sebab itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dalam upaya perbaikan tugas akhir ini.

Semoga skripsi ini dapat berguna bagi siapa saja yang mengkajinya, serta dapat dikembangkan dan disempurnakan agar lebih bermanfaat untuk kepentingan orang banyak.

Depok, 30Juni 2011

Penulis

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

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

Nama : Charles A Munthe
NPM : 0305020225
Program Studi : Fisika Instrumentasi Elektronika
Departemen : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu pengetahuan Alam
Jenis karya : Skripsi

demikian 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 :

**RANCANG BANGUN ALAT UKUR DENSITAS DAN DOSIS RADIASI
SINAR-X PADA FILM BADGE DENGAN MENGGUNAKAN SENSOR
CAHAYA CI-6504A BERBASISKAN LABVIEW**

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 memublikasikan 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 : 30 Juni 2011

Yang menyatakan,

(Charles A Munthe)

Nama : Charles A Munthe
Program Studi : Fisika
Judul Skripsi : Rancang Bangun Alat Ukur Densitas dan Dosis Radiasi Sinar-X pada Film Badge dengan Menggunakan Sensor Cahaya CI-6504A berbasis Labview

ABSTRAK

Instrumen pemantauan dosis radiasi sinar-x untuk para pekerja radiasi berhasil dikembangkan. Instrumen ini dapat mengukur densitas dan dosis radiasi yang direkam oleh film badge yang dikenakan oleh para pekerja radiasi. Sistem instrumentasi dirancang menggunakan sensor cahaya, DAQ, dan PC dengan menggunakan perangkat lunak LabVIEW. Film badge yang digunakan mempunyai tiga jenis filter yaitu Plastik, SnPb dan Dural. Sensor cahaya yang dipakai mempunyai kemampuan deteksi antara 5-500 lux. Data atenuasi intensitas cahaya oleh film badge yang dideteksi oleh sensor cahaya dirubah ke digital dan diolah oleh DAQ. Data ini kemudian dianalisis dan disimpan di data based beserta identitas pekerja, densitas film, dosis radiasi, dan waktu pengukuran. Data dapat diakumulasi sehingga riwayat paparan radiasi dari pekerja dapat dimonitor dan tersimpan dengan baik. Kalibrasi instrument dilakukan dengan menggunakan kalibrator film densitas. Hasil pengukuran densitas film kalibrator sudah mendekati nilai densitas yang sudah disertifikasi. Instrumen ini dapat dioperasikan dan menunjukkan hasil ukur secara langsung yang dapat dimonitor melalui GUI yang dirancang secara interaktif.

Kata kunci: densitas, dosis radiasi, film badge, sensor cahaya, DAQ.

Name : Charles A Munthe
Study Program : Physics
Title : Design of Density and Radiation Dose X-ray Film Badge
Measurement with Light Sensor Using CI-6504A based on
LabVIEW

ABSTRACT

The instrument monitoring radiation doses for the workers in a radiology department at the hospital have been successfully developed. These instruments could measuring density and the radiation doses recorded by film badges worn by radiation workers. Instrumentation system is designed using a light sensors, DAQ, and a PC by LabVIEW software. Film badges that are used had three types of filters ie Plastics, SnPb and Dural. The light sensor has a detection capabilities used between 500-500 lux. A data attenuation of light intensities by film badge detected by light sensors to digital converted and processed by DAQ. This data is then analyzed and stored in a data-based workers and their identity, the film density, radiation doses, and time measurement. The data can be accumulated so that a history of radiation exposure from workers could be monitored and saved fine. The instrument calibration performed using film density calibrator. This instrument can operate and shows the results of direct measurement that can be monitored via a GUI that is designed interactively.

Keywords: Density, Radiation Doses, Film Badges, Light Sensors, DAQ.

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|---|-----------|
| HALAMAN JUDUL..... | i |
| HALAMAM PERNYATAAN ORISINALITAS | ii |
| HALAMAM PENGESAHAN | iii |
| KATA PENGANTAR | iv |
| LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH | v |
| ABSTRAK | vi |
| <i>ABSTRACT</i> | vii |
| DAFTAR ISI..... | iv |
| DAFTAR TABEL..... | vi |
| DAFTAR GAMBAR | vii |
| BAB 1 PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1. Latar Belakang Masalah | 1 |
| 1.2. Pembatasan Masalah..... | 2 |
| 1.3. Tujuan Penelitian | 2 |
| 1.4. Metodologi Penelitian..... | 2 |
| 1.5. Sistematika Penulisan | 5 |
| BAB 2 LANDASAN TEORI | 6 |
| 2.1. Radiasi | 6 |
| 2.2 Besaran-Besaran Fisika yang Terkait dengan Radiasi Inti | 7 |
| 2.2.1. Aktifitas Radiasi | 7 |
| 2.2.2.Eksposur..... | 8 |
| 2.2.3.Dosis Serapan | 8 |
| 2.2.4. Kuantitas Radiasi..... | 9 |
| 2.2.5. Dosis Ekuivalen..... | 9 |
| 2.3 Sistem Proteksi Radiasi..... | 10 |
| 2.4 Alat Ukur Proteksi Radiasi | 12 |
| 2.5 Nilai Batas Radiasi..... | 14 |
| 2.6 Densitas Optik..... | 17 |
| BAB 3 PERANCANGAN ALAT | 18 |
| 3.1. Perangkat Keras | 18 |
| 3.1.1. Rangkaian Lampu Halogen | 20 |
| 3.1.2. Film Badge | 21 |
| 3.1.3. Sensor Cahaya Pasco CI-6504A..... | 24 |
| 3.1.4. DAQ NI-USB 6009 | 24 |
| 3.1.5. Film Kalibrasi Radiasi..... | 25 |
| 3.2. Perangkat Lunak | 27 |
| 3.3 Prinsip Kerja Rancangan Secara Umum..... | 27 |
| 3.3.1. Program Aplikasi Komputer | 28 |
| 3.3.2. Program Pengukuran Tegangan dari Cahaya Lampu dan Cahaya atenuasi | 28 |
| 3.3.3. Program Perhitungan Densitas | 30 |
| 3.3.4. Program Perhitungan Dosis..... | 31 |
| 3.3.5. Program Penyimpanan Data dengan Sistem Database..... | 37 |
| BAB 4 HASIL dan PEMBAHASAN | 38 |
| 4.1. Pengujian Output Rangkaian Lampu | 38 |

| | |
|---|-----------|
| 4.2. Pengujian Ouput Sensor..... | 40 |
| 4.3. Pengujian Penguatan Sensor CI-6504A..... | 41 |
| 4.4. Kalibrasi Fungsi Transfer Densitas..... | 43 |
| 4.5. Perbandingan Nilai Dosis Manual dengan Nilai Dosis Digital | 46 |
| 4.6. Pengujian Program Penyimpanan Sistem Database | 47 |
| 4.7. Pengujian Program LabVIEW dan GUI | 48 |
| BAB 5 PENUTUP..... | 50 |
| 5.1 Kesimpulan | 50 |
| 5.2 Saran | 50 |
| DAFTAR ACUAN..... | 51 |
| Lampiran | 53 |



DAFTAR TABEL

| | Halaman |
|-----------|--|
| Tabel 3.1 | Contoh Perhitungan Densitas pada film badge28 |
| Tabel 3.2 | Contoh Perhitungan Dosis pada film badge.....29 |
| Tabel 3.3 | Contoh Perhitungan Dosis Total pada film badge29 |
| Tabel 3.4 | Data plot Densitas dan Dosis31 |
| Tabel 4.1 | Pengujian Tegangan Rangkaian Tanpa Lampu dan Tegangan Rangkaian setelah dibebani Lampu34 |
| Tabel 4.2 | Pengujian Tegangan Lampu danTegangan Sensor36 |
| Tabel 4.3 | Pengujian Sensor CI-6504 dengan penguatan 1x38 |
| Tabel 4.4 | Pengujian Sensor CI-6504 dengan penguatan 10x38 |
| Tabel 4.5 | Pengujian Sensor CI-6504 dengan penguatan 100x38 |
| Tabel 4.6 | Pengujian Sensor CI-6504 dari setiap penguatan39 |
| Tabel 4.7 | Data Plot Fungsi transfer densitas.....39 |
| Tabel 4.8 | Data Hasil Pengukuran densitas.....40 |
| Tabel 4.9 | Data Hasil Pengukuran Dosis Hasil pengukuran Sistem43 |
| Tabel 4.3 | Pengujian Sensor CI-6504 dengan penguatan 1x38 |

DAFTAR GAMBAR

| | Halaman |
|--|---------|
| Gambar 1.1 Skematik perancangan alat | 3 |
| Gambar 2.1 Hubungan antara aktivitas dan kuantitas..... | 9 |
| Gambar 3.1 Block diagram pengembangan densitometer dengan menggunakan sensor cahaya CI-6504A | 15 |
| Gambar 3.2 Rangkaian Lampu Halogen..... | 16 |
| Gambar 3.3 Film Badge dan Susunan Filter pada Holder | 18 |
| Gambar 3.4 Konektor DIN spesifikasi untuk CI-6504A | 20 |
| Gambar 3.5 NI DAQ USB 6009 | 21 |
| Gambar 3.6 Film Kalibrasi dan Sertifikasi Kalibrasi | 22 |
| Gambar 3.7 Aliran Program secara umum proses pengukuran densitas dan dosis film badge | 23 |
| Gambar 3.8 Diagram Alir Pengukuran Tegangan lampu dan tegangan atenuasi | 25 |
| Gambar 3.9 Front panel pengukuran V_o , V_i dan V_o/V_i | 26 |
| Gambar 3.10 Kurva kalibrasi film badge..... | 28 |
| Gambar 3.11 Diagram Alir Perhitungan Dosis Radiasi..... | 28 |
| Gambar 3.12 Tampilan front panel pengukuran dosis..... | 32 |
| Gambar 3.13 Diagram alir program penyimpanan data base dan tampilan GUI. . | 33 |
| Gambar 4.1 Grafik Pengujian Tegangan rangkaian tanpa lampu selama 30 menit | 35 |
| Gambar 4.2 Grafik Pengujian Tegangan Rangkaian dengan Lampu selama 30 menit | 35 |
| Gambar 4.3 Grafik Pengujian Tegangan Lampu Vs Tegangan Sensor selama 30 menit | 37 |
| Gambar 4.4 Grafik Plot $\ln(V_o/V_i)$ dengan Densitas..... | 40 |
| Gambar 4.5 Pengukuran Film Kalibrasi Film dengan densitometer portable | 41 |
| Gambar 4.6 Pengukuran Dosis Film Kalibrasi dengan Program Labview..... | 42 |
| Gambar 4.7 Data base hasil pengukuran dengan menggunakan Microsoft acces | 44 |
| Gambar 4.8 GUI(Tab Prosedur, Tab Pengukuran, Tab History Dan Riwayat | 45 |

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sejalan dengan perkembangan dan kemajuan teknologi nuklir yang semakin merambah ke berbagai bidang kegiatan, baik penelitian, pelayanan maupun industri maka penggunaan zat radioaktif dan sumber radiasi lainnya perlu pengelolaan dan pengaturan yang baik agar keselamatan manusia dan lingkungan dapat terjamin karena potensi bahaya yang terkandung didalamnya[1].

Upaya proteksi radiasi bertujuan untuk mengurangi penerimaan atau mengetahui penerimaan dosis radiasi pada pekerja radiasi dan masyarakat pada umumnya. Seperti halnya pada bahan-bahan radioaktif yang proses interaksinya dimanfaatkan untuk kepentingan masyarakat. Karena bahan-bahan tersebut menghasilkan partikel yang bersifat radioaktif seperti partikel alfa, beta, neutron dan lainnya maka diperlukan proteksi terhadap radiasinya[1].

Namun pada saat ini, khususnya di Indonesia masih sangat sedikit alat yang dapat mengukur dosis radiasi dikarenakan keterbatasan alat ukur dosis radiasi dilembaga-lembaga pelayanan kesehatan yang ada di Indonesia. Kekurangan alat ukur dosis radiasi ini menjadi suatu masalah yang cukup mengkhawatirkan. Sehingga menjadi kendala dalam pelaksanaan proteksi pekerja radiasi. Pemantauan dosis radiasi pada pekerja radiasi pada saat ini masih banyak menggunakan film badge. Penggunaan film badge oleh pekerja radiasi memberikan manfaat yang besar, selain ekonomis, film badge juga bisa mempertahankan paparan radiasi yang diterimanya dalam jangka yang lama dibandingkan dosimeter personal yang lain[2].

Untuk penanganan proteksi terhadap pekerja radiasi, perlu dikembangkan dan diperbanyak alat ukur densitas dan dosis radiasi. Karena pada saat ini, banyak instansi maupun perusahaan yang bekerja dibidang radiasi dan nuklir yang pekerja radiasinya menggunakan film badge, tetapi tidak memiliki alat ukur proteksi dosis radiasi. Perusahaan maupun instansi tersebut harus mengontrol film badge para pekerjanya ke balai-balai peneliti fasilitas kesehatan yang ada didaerahnya, hal ini membutuhkan waktu yang lama.

Merupakan hal yang baik, bila pemantauan dosis radiasi yang diterima pekerja radiasi dapat dilakukan kapan dan dimana saja tanpa mengganggu aktivitas kerja. Maka dengan ini penulis merancang sistem pemantau dosis radiasi pada film badge dengan menggunakan sensor cahaya dan penyimpanan data dengan menggunakan sistem data base untuk mempermudah monitoring riwayat pekerja radiasi.

1.2 Pembatasan Penelitian

- Membangun Sistem Pengukuran densitas Radiasi Sinar-X yang terekam difilm Badge, penghitungan dosis radiasi, dan sistem informasi Keselamatan kerja dilingkungan radiasi
- Kalibrasi densitas radiasi di film badge untuk mendapatkan fungsi transfer antara densitas radiasi dengan tegangan listrik
- Melakukan perhitungan dosis dengan menggunakan fungsi transfer
- Membangun sistem elektronik pengukuran densitas film badge
- Membangun sistem informasi pengukuran densitas film badge

1.3 Tujuan Penelitian

- Membuat alat yang bisa mengukur densitas suatu film badge dengan memanfaatkan sensor cahaya CI-6504A
- Membuat program database untuk mendokumentasikan hasil pengukuran dosis film badge

1.4 Metologi Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan terdiri atas tiga tahap utama, antara lain:

1. Studi Peralatan

Studi Peralatan digunakan penulis untuk mempelajari karakteristik dan spesifikasi alat yang akan digunakan dalam pembuatan *Densitometer* dan pendistribusiannya sehingga penulis mendapatkan pembelajaran yang tepat tentang alat yang akan dipakai tersebut dan diperoleh teori-teori dasar sebagai sumber penulisan skripsi

2. Studi Literatur

Studi kepustakaan dilakukan untuk memperoleh informasi dan pustaka yang berkaitan dengan masalah ini diperoleh dari literatur, penjelasan yang

diberikan dosen pembimbing, rekan-rekan mahasiswa, internet dan buku-buku yang berkaitan dengan penelitian

3. Penelitian Laboratorium

Penelitian laboratorium dilakukan untuk merakit, membuat alat dan meneliti kerja alat yang telah dirancang dengan aplikasi program yang telah didesain

Penelitian yang dilakukan memiliki tahap-tahap pelaksanaan, pembuatan, dan penganalisaan, antara lain meliputi:

1. Diskusi

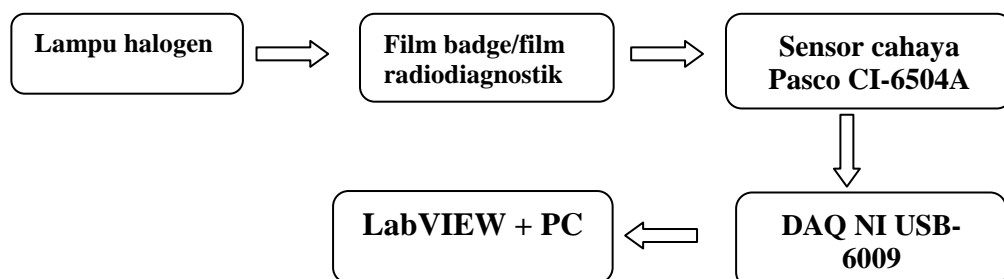
Diskusi yang dilakukan adalah diskusi dengan seluruh pembimbing penelitian, serta mahasiswa dan alumni yang kompeten dibidang tertentu yang berkaitan dengan penelitian sehingga dapat terpecahkan masalah saat berlangsungnya penelitian dan pembuatan program

2. Studi Literatur

Untuk memperoleh data mengenai cara kerja alat dan spesifikasi alat yang digunakan beserta landasan teori dalam penelitian. Sumber media yang mendukung adalah buku-buku acuan, jurnal-jurnal, artikel-artikel, serta informasi yang diperoleh dari internet

3. Perancangan Alat

Perancangan alat pada penelitian ini terdiri dari rangkaian lampu halogen sebagai sumber cahaya, film radiagnostik sebagai alat untuk kalibrasi dari sensor cahaya yang digunakan, Sensor cahaya Pasco CI-6504A sebagai detektor intensitas, DAQ NI USB-6009 dan sebuah PC. Adapun *software* yang digunakan adalah LabVIEW 8.5. Perancangan alat disusun sebagai berikut:



Gambar 1.1. Skematik perancangan alat

4. Pembuatan Alat

Alat yang akan digunakan pada saat penelitian dibuat dan disiapkan berdasarkan perancangan yang telah diperoleh pada tahap sebelumnya.

5. Pembuatan Sistem Pemrograman

Sistem pemrograman dibuat untuk memonitor data secara *real-time* yaitu menampilkan data setiap saat dengan menggunakan LabVIEW versi 8.5 dari National Instruments. Pembacaan sinyal ke data base komputer dihubungkan melalui DAQ NI USB-6009

6. Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan dengan tujuan untuk memastikan bahwa alat yang dipakai pada saat penelitian dapat berkerja dengan baik sesuai dengan fungsinya sehingga tidak menimbulkan permasalahan pada saat dilakukan pengambilan data.

7. Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan setelah semua alat pada sistem *monitoring* teruji dengan baik sehingga data yang diperoleh adalah data yang *valid*. Dengan demikian dapat memperkecil kemungkinan terjadinya kesalahan.

8. Pembuatan laporan akhir

Laporan akhir yang dibuat berdasarkan pada hasil monitoring yang dapat ditampilkan pada GUI

9. Kesimpulan

Kesimpulan secara keseluruhan yang merupakan tahap akhir dari penelitian ini diambil setelah pembuatan laporan akhir selesai beserta hasil analisa mengenai semua proses yang telah dilakukan selama penelitian berlangsung.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi terdiri atas lima bab yang secara garis besar dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Bab 1 Pendahuluan

Bab ini membahas tentang latar belakang dari penelitian, tujuan, metode yang digunakan, dan juga pembatasan masalah pada penelitian yang dilakukan.

2. Bab 2 Tinjauan Pustaka

Bab ini membahas secara garis besar teori dasar yang berhubungan dengan penelitian.

3. Bab 3 Perancangan Sistem

Bab ini membahas penggunaan perangkat lunak dan perangkat keras yang mendukung aplikasi LabVIEW pada sistem pemantauan tegangan output sensor dengan menggunakan *program densitas dan dosis* berbasis DAQ NI-USB 6009.

4. Bab 4 Pengujian dan Analisis Hasil Penelitian

Bab ini berisi penjelasan mengenai hasil penelitian dari pengukuran tegangan pada film badge dan film kalibrasi (film radiodiagnostik) dengan menggunakan sensor cahaya untuk kemudian digunakan untuk perhitungan densitas serta dosisnya pada film badge real dan juga analisis dari sistem pengukuran yang telah dibuat.

5. Bab 5 Penutup

Bab ini berisi kesimpulan penelitian dan saran yang mendukung penelitian agar memberikan hasil yang lebih baik lagi untuk pengembangannya.

BAB 2 LANDASAN TEORI

Beberapa teori dasar yang akan dibahas sehubungan sistem pemantauan densitas dan dosis radiasi film badge yang akan dirancang dalam penelitian ini, antara lain pengertian radiasi, besaran-besaran radiasi, jenis-jenis radiasi, sistem proteksi dan peralatan dosis radiasi, nilai batas dosis radiasi yang diijinkan oleh badan kesehatan dan densitas optik.

2.1 Radiasi

Radiasi adalah pemancaran dan perambatan gelombang yang membawa tenaga melalui ruang atau antara, misal pemancaran dan perambatan gelombang elektromagnetik, gelombang bunyi; gelombang lenting; penyinaran. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa radiasi bukan hanya radiasi nuklir, tetapi juga radiasi lain seperti gelombang radio, gelombang televisi, pancaran sinar matahari, dll[3].

Selain benda-benda tersebut ada sumber-sumber radiasi yang bersifat unsur alamiah dan berada di udara, didalam air atau berada didalam lapisan bumi. Beberapa diantaranya adalah Uranium dan Thorium di dalam lapisan bumi; Karbon dan Radon di udara serta Tritium dan Deuterium yang ada di dalam air.

Radiasi dalam bentuk partikel adalah jenis radiasi yang mempunyai massa terukur. Sebagai contoh adalah radiasi alpha dengan simbol:



angka 4 pada simbol radiasi menunjukkan jumlah massa dari radiasi tersebut adalah 4 satuan massa atom (sma) dan angka 2 menunjukkan jumlah muatan radiasi tersebut adalah positif 2, serta radiasi beta dengan simbol:



menunjukkan bahwa jumlah massa dari jenis radiasi tersebut adalah 0 dan jumlah muatannya adalah 1 negatif, sedangkan radiasi neutron dengan simbol:



menunjukkan bahwa jumlah massa dari neutron adalah 1 sma (satuan massa atom) dan jumlah muatannya adalah 0. Radiasi dalam bentuk gelombang elektromagnetik atau disebut juga dengan foton adalah jenis radiasi yang tidak mempunyai massa dan muatan listrik. Misalnya adalah gamma dan sinar-X, dan juga termasuk radiasi tampak seperti sinar lampu, sinar matahari, gelombang microwave, radar dan handphone[4].

2.2 Besaran-Besaran Fisika yang Terkait dengan Radiasi Inti

Secara definisi, radiasi merupakan salah satu cara perambatan energi dari suatu sumber energi ke lingkungannya tanpa membutuhkan medium atau bahan penghantar tertentu. Salah satu bentuk energi yang dipancarkan secara radiasi adalah energi nuklir. Radiasi ini memiliki dua sifat yang khas, yaitu tidak dapat dirasakan secara langsung oleh panca indra manusia dan beberapa jenis radiasi dapat menembus berbagai jenis bahan.

Sebagaimana sifatnya yang tidak dapat dirasakan sama sekali oleh panca indera manusia, maka untuk menentukan ada atau tidak adanya radiasi nuklir diperlukan suatu alat, yaitu pengukur radiasi yang merupakan suatu susunan peralatan untuk mendeteksi dan mengukur radiasi baik kuantitas, energi, atau dosisnya

Ada beberapa besaran yang penting dalam pembicaraan radiasi, yaitu : aktivitas radioaktif, aksosur, dosis serapan, kuantitas, energi dan dosis ekivalen.

2.2.1. Aktifitas radioaktif

Besaran ini merupakan ukuran aktifitas inti atom radioaktif yang menyatakan banyaknya peluruhan yang terjadi per detik. Satuan SI untuk aktivitas adalah *becquerel* (*bq*) yang didefinisikan sebagai satu peluruhan per detik. Nama satuan ini diambil dari nama fisikawan Perancis pemenang hadiah Nobel Henri Bequerel (1852-1908), penemu gejala radioaktivitas alamiah pada tahun 1896.

Satuan lain yang lebih sering dipakai adalah *curie* (*Ci*) yang diambil dari nama suami-istri Piere (1859-1906) dan Marie Curie (1867- 1934), pemenang hadiah Nobel fisika tentang radioaktivitas alamiah, Marie sendiri menerima Nobel kimia pada tahun 1911 untuk penemuan unsur radium (Ra) dan polonium (Po).

1 Ci = 3,7 x 10¹⁰ Bq.....2.1

1 Ci sebetulnya adalah aktivitas 1 gram unsur radium. Tampak bahwa aktivitas sama sekali tidak menampilkan jenis radiasi maupun besar energi yang dipancarkannya, sehingga besaran ini tidaklah berguna untuk mengukur dampak radiasi terhadap makhluk hidup. Jenis radiasi dan jenis penerima radiasi turut menentukan efek biologis yang ditimbulkannya.

2.2.2. Eksposur

Dampak radiasi yang paling menonjol adalah kemampuannya mengionisasi materimateri yang ditumbukinya. Sinar X dan gamma dengan mudah dapat mengusir elektron dari tempatnya menghasilkan ion-ion bermuatan listrik. Demikian pula elektron, ia menolak sesama elektron membentuk ion positif atau ia menempel pada suatu atom membentuk ion negatif. Partikel positif seperti partikel alpha mampu merebut elektron dari atom-atom yang dilewatinya.

Bahkan partikel tak bermuatan seperti netron pun dapat mengionisasi walaupun secara tidak langsung. Kekuatan radiasi dalam hal kemampuan ionisasi inilah yang diukur oleh besaran eksposur. Satuan yang umum dipakai untuk eksposur ini adalah roentgen (R) dimana 1 R didefinisikan sebagai eksposur sinar X atau gamma yang menghasilkan muatan 1 esu di dalam 1 cc udara kering dalam keadaan STP. Tampak satuan SI untuk eksposur adalah coulomb/kg, dan :

$$1 R = 2,58 \times 10^{-4} C/kg.....2.2$$

Nama roentgen diambil dari fisikawan Jerman Wilhelm Roentgen, penemu sinar X pada tahun 1895.

2.2.3. Dosis serapan

Laju serapan energi yang timbul akibat radiasi ionisasi tergantung pada jenis bahan yang diradiasi. Besaran yang dipakai sebagai standar serapan radiasi untuk berbagai jenis bahan dosis serapan, yaitu jumlah energi radiasi yang terserap dalam 1 satuan massa bahan. Satuan SI untuk dosis serapan ini adalah gray (Gy), 1 Gy sama dengan energi 1 joule yang terserap oleh 1 kg bahan. Satuan lain yang juga sering dipakai adalah *rad* (radiation absorbed doses) yaitu energi 100 erg yang terserap tiap gram bahan, sehingga

$$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad} \dots \dots \dots 2.3$$

Hubungan D dan X dapat dibuat jika bahan penyerap energi radiasinya adalah udara STP. Eksposur 1 R mampu menghasilkan :

$$(2,58 \times 10^{-4}) / (1,6 \times 10^{-19}) = 1,61 \times 10^{15}, \text{ ion/kg udara} \dots \dots \dots 2.4$$

$1,6 \times 10^{-19}$ coulomb adalah muatan listrik yang dimiliki oleh sebuah elektron, atau ion akibat kehilangan/kelebihan elektron. Untuk membentuk tiap ion udara rata-rata dibutuhkan energi 34 eV, sehingga eksposur 1 R memberikan energi :

$$(1,61 \times 10^{15}) \times (34 \times 1,6 \times 10^{-19}) = 0,0088 \text{ joule/kg udara} \dots \dots \dots 2.5$$

Dengan demikian eksposur sinar X atau gamma sebesar 1 R di dalam udara memberikan dosis serapan sebesar 0,0088 Gy atau 0,88 rad.

2.2.4. Kuantitas radiasi

Kuantitas radiasi adalah jumlah radiasi per satuan waktu per satuan luas, pada suatu titik pengukuran. Kuantitas radiasi ini berbanding lurus dengan aktivitas sumber radiasi dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak (r) antara sumber dan sistem pengukur.



Gambar 2.1: hubungan antara aktivitas dan kuantitas

Gambar 1 menunjukkan bahwa jumlah radiasi yang mencapai titik pengukuran (kuantitas radiasi) merupakan sebagian dari radiasi yang dipancarkan oleh sumber.

2.2.5. Dosis Ekuivalen

Ketiga besaran radiasi di atas tidak satupun yang mengukur dampak radiasi terhadap tubuh manusia, padahal tentu saja dampak biologis inilah yang terpenting untuk diketahui awam, agar semua orang dapat mempertimbangkan bahaya radiasi yang dialaminya. Jenis radiasi ikut menentukan dampak biologis

ini, dampak radiasi gamma dan beta 1 rad tidak sama dengan dampak radiasi alpha 1 rad misalnya. Untuk itu didefinisikan dosis ekuivalen :

$$DE = Q \cdot D \dots \dots \dots 2.6$$

Q adalah faktor kualitas radiasinya, untuk sinar X, beta dan gamma $Q = 1$, sedangkan radiasi proton atau netron berkisar $2 < Q < 5$ untuk energi rendah (keV) dan $5 < Q < 10$ untuk energi tinggi (MeV). **Q** tertinggi dimiliki oleh radiasi alpha atau ion berat lainnya, yaitu dapat mencapai 20. Jadi radiasi alpha dapat memiliki kemampuan merusak sel-sel tubuh 20 kali lebih besar daripada radiasi beta. Jika **D** dalam rad maka **DE** dalam rem (roentgen equivalent in man), sedangkan satuan SI-nya adalah *sievert (Sv)*. $1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$.

2.3 Sumber Radiasi

Macam-macam sumber radiasi:

1. Radiasi Alam
 - a. Radiasi alam yang berasal dari sinar kosmis
 - b. Radiasi yang berasal dari panas matahari yang tinggi
 - c. Radiasi dari unsur-unsur kimia yang terdapat dalam lapisan kerak bumi
 - d. Radiasi bahan radioaktif alam
2. Radiasi Buatan
 - a. Sinar x, berasal dari tabung Roentgen
 - b. Sinar radioaktif buatan, misalnya fosfor, jodium dll
 - c. Radiasi nuklir
 - d. Sinar LASER[3]

2.4 Sistem Proteksi Radiasi

Pemanfaatan sumber radiasi baik dari alam maupun buatan dalam bidang radiology dibagi menjadi 3 yaitu :

- 1 Radiodiagnostik
- 2 Radioterapi
- 3 Kedokteran Nuklir

Dengan pemanfaatan sumber radiasi tersebut dalam jangka waktu yang lama dan jika tidak terkontrol akan mengakibatkan timbulnya efek-efek radiasi yaitu :

1. Efek Stokhastik

Adalah efek dari radiasi yang tidak mempunyai nilai ambang batas tertentu dalam menimbulkan suatu penyakit

2. Efek non stokhastik

Adalah efek dari radiasi yang mempunyai nilai ambang batas tertentu dalam menimbulkan suatu penyakit

Ada 3 prinsip dasar proteksi radiasi eksternal yaitu :

1. Waktu

Semakin lama waktu pekerja radiasi bekerja di daerah radiasi, maka kemungkinan akan mendapatkan pajanan radiasi semakin besar, demikian pula sebaliknya, Semakin pendek waktu pekerja radiasi bekerja di daerah radiasi, maka kemungkinan akan mendapatkan pajanan radiasi semakin kecil

$$\text{Nilai dosis} \times \text{waktu penyinaran} = \text{dosis total} \dots \dots \dots (2.1)$$

2. Jarak

Dengan menggunakan rumusan 'Inverse square law', diketahui bahwa semakin jauh jarak pekerja radiasi bekerja dengan sumber radiasi, maka semakin kecil kemungkinan mendapatkan pajanan radiasi dan sebaliknya semakin dekat jarak pekerja radiasi bekerja dengan sumber radiasi, maka semakin besar kemungkinan mendapatkan pajanan radiasi[5]

$$I_1 \cdot (d_1)^2 = I_2 \cdot (d_2)^2 \dots \dots \dots (2.2)$$

3. Perisai radiasi / shielding

Semakin tebal perisai radiasi / shielding (dari Pb) maka semakin kecil kemungkinan mendapatkan pajanan radiasi dan sebaliknya semakin tipis Perisai radiasi / shielding (dari Pb) yang digunakan pekerja radiasi yang bekerja dengan sumber radiasi, maka semakin besar kemungkinan mendapatkan pajanan radiasi[5]

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu t} \dots \dots \dots (2.3)$$

2.5 Alat Ukur Proteksi Radiasi

System alat ukur proteksi radiasi mempunyai karakteristik yaitu harus dapat memberikan informasi dosis radiasi dan efek atau pengaruh radiasi tersebut terhadap manusia. Nilai atau hasil pengukuran berupa parameter-parameter dosis seperti paparan dalam roentgen, dosis serap dalam gray atau dosis ekivalen dalam sievert atau rem (Diklat PPR – UGM, 2002)

Dalam penggunaannya, alat proteksi radiasi ini biasanya dibedakan atas tiga kategori, yaitu :

1. **Surveymeter**
Berfungsi untuk mengukur dosis radiasi di tempat kerja secara langsung sehingga pekerja yang membawa alat ini dapat memperkirakan dosis yang dapat diterimanya bila bekerja di tempat tersebut dalam waktu tertentu
2. **Monitor radiasi**
Digunakan untuk mengetahui tingkat kontaminasi suatu tempat atau untuk memantau secara terus menerus tingkat paparan radiasi di tempat-tempat tertentu
3. **Dosimeter personal**
Berfungsi untuk mencatat dosis radiasi yang telah mengenai seorang pekerja radiasi secara akumulasi sehingga pekerja tersebut dapat membandingkannya dengan nilai batas akumulasi.

Terdapat tiga macam dosimeter perorangan/personal yang banyak digunakan saat ini yaitu : dosimeter saku (pen/pocket dosimeter), TLD dan film badge.

Film Badge merupakan salah satu alat ukur radiasi yang digunakan untuk mencatat dosis radiasi yang terakumulasi selama periode tertentu. Film badge ini ringan, mudah dibawa dan mudah penggunaannya. Disamping itu juga kuat dan dapat mengukur radiasi dari 10 mR sampai dengan 20 R.

Film badge terdiri dari dua bagian, yaitu film monitoring radiasi dan bingkai film (film holder). Film monitoring ini dibungkus dengan bahan yang kedap cahaya tanpa menggunakan lembaran penguat (intensifying screen / IS). Film monitoring radiasi mempunyai dua macam emulsi, yaitu emulsi cepat (fast

emulsion) yang terletak di bagian depan dan emulsi lambat (low emulsion) yang terletak di bagian belakang.

Bingkai film (film holder) dibuat dari bahan polipropilin yang berbentuk kotak persegi yang diberi engsel dan dapat memuat film monitoring yang ukurannya sama dengan ukuran film gigi standar. Bingkai film ini mempunyai beberapa filter (saringan) seperti pada gambar. Dengan menggunakan beberapa filter dapat digunakan untuk mengukur dosis radiasi β , γ , sinar X dan neutron termal.

Pada bagian film di balik jendela memberikan respon terhadap radiasi yang mampu menembus bingkai film dan berinteraksi dengan emulsi film. Filter plastik 50 mg/cm^2 boleh dikatakan sama sekali tidak menyerap sinar X dan sinar gamma, tetapi menyerap sinar beta dan elektron. Filter plastik 300 mg/cm^2 disamping ekuivalen dengan kedalaman lensa mata, sedikit menyerap energi foton dengan energi rendah dan menyerap semua sinar beta, kecuali sinar beta yang mempunyai energi yang sangat tinggi. Filter dural (campuran logam aluminium dan logam Cu) di bagian depan dan belakang bingkai film mulai menyerap foton secara berarti pada energi 65 keV . Pada filter timah putih/hitam pada energi 65 keV responnya mulai menurun.[6]

Pada umumnya sebelum sejumlah film dikirim kepada pemakai satu atau dua film diambil dipergunakan untuk membuat grafik dengan cara menyinari film tersebut dan membaca density kemudian tergambarlah suatu grafik standard. Sering terjadi adanya penyimpangan antara penyinaran dan pembacaan film yang telah disinari, hal itu disebabkan antara lain:

1. Batas kemampuan terendah untuk mendeteksi suatu radiasi dosis rendah. Pengukuran menjadi kurang akurat, batas minimum $0,1 \text{ Sv}$ (10 mRem) kemungkinan yang diterima lebih rendah dari $0,1 \text{ mSv}$ (10 mrem).
2. Kesalahan bacaan yang berhubungan dengan energi. Kesalahan dapat timbul sebesar $10 - 20 \%$ apabila film tidak dipergunakan pada batas jangkauan energi yang telah ditentukan. Dapat juga terjadi energi radiasi yang tidak tepat jatuh pada daerah kompensasi pada film, kemungkinan yang mencapai daerah tersebut hanya hamburannya saja, sehingga kesalahan baca dapat sangat besar.

3. Kesalahan yang disebabkan oleh adanya pengukuran bayangan laten antara penyinaran dengan pencucian (proses). Peningkatan bayangan putih emulsi dari film cepat dapat sebagai penyebab utama suatu kesalahan . tergantung pada tipe dari emulsi film (cepat atau lambat) kondisi lingkungan, waktu pemakaian.
4. Kesalahan pada waktu pengukuran kerapatan.
5. Kesalahan pada waktu pencucian (proses) film.
Pada waktu pembuatan grafis standar dengan pencucian film keadaan bahan pencuci (developer) sudah berbeda atau bahan sudah mengalami penggantian. Perbedaan waktu pencucian selama 4 menit dapat menyebabkan kesalahan sebesar 10 - 25 % perbedaan suhu 1° c, kesalahan mendeteksi 10 %.
6. Kesalahan yang disebabkan oleh kalibrasi. Kesalahan dapat mencapai kurang lebih 5 %.
7. Kesalahan yang disebabkan oleh temperatur pada sensitivitas fitografik.
Sensitivitas emulsi film terhadap sinar-x bertambah secara linear dengan temperatur, kenaikan temperatur , dengan fluktuasi yang cukup besar pada pemakaian yang digunakan akan berpengaruh. Umum terjadi pada para pekerja di alam tropik yang bekerja diluar ruangan pada siang hari, dekat pemanas. Pengaruh panas pada film baik sebelum dan sesudah penyinaran dapat mengubah pemutihan (fogging) dan adanya kehitaman[7],[8].

2.6 Nilai Batas Dosis (NBD)

Ditinjau dari segi pembatasan dosis , perkembangan dosis adalah sebagai berikut :

- 1925 Pengawasan dosis berdasarkan waktu kerja, yaitu maksimum 7 jam perhari, 5 hari perminggu dengan cuti tidak kurang dari 1 bulan pertahun.
- 1928 Disetujui adanya suatu tingkat dosis yang dapat ditolerir yang berarti bahwa terdapat nilai ambang, di bawah nilai ambang tersebut, pengaruh radiasi tidak tampak .
- 1934 Laju dosis (nilai batas dosis) sebesar 0,2 R/hari
- 1935 Laju dosis (nilai batas dosis) menjadi sebesar 0,3 R/hari

- 1950 Laju dosis (nilai batas dosis) menjadi sebesar 0,3 R/minggu
- 1955 NBD dianggap terlalu dekat dengan nilai dosis dimana akibat buruk dari radiasi dapat terjadi . *'Akibat genetic yang dapat terjadi tanpa suatu nilai ambang, mulai dianggap penting'*
- 1977 Dalam publikasi no. 26, ICRP tidak lagi menggunakan istilah "Nilai Batas Dosis yang diijinkan" akan tetapi mengemukakan konsep *ALARA (As Low As Reasonably Achievable)* : 'semua penyinaran harus diusahakan serendah-rendahnya dengan memperhatikan factor ekonomi dan sosial'. NBD ekivalen ditentukan sebesar 50 mSv (5 Rem) dalam satu tahun.
- 1990 Berdasarkan rekomendasi ICRP dalam publikasi no. 60 tahun 1990, Badan Tenaga Atom Internasional menerbitkan Standar Keselamatan Dasar untuk proteksi radiasi dan keselamatan sumber radiasi.

Di Indonesia besarnya NBD diatur dalam buku Keselamatan Kerja Terhadap Radiasi, dengan Surat Keputusan Dirjen Batan no. PN 03/160/DJ/89, yang sekarang menjadi SK Kepala Bapeten No. 01/Ka. Bapeten No. 01/Ka. BAPETEN/ V-1999, NBD yang digunakan dalam keselamatan Kerja ini adalah seperti yang direkomendasikan oleh ICRP dalam Publikasi no. 26 dan oleh IAEA dalam Safety Series no. 9[9],[10]

NBD ekivalen efektif ditentukan agar tujuan proteksi radiasi dapat tercapai, yaitu :

1. Untuk menghindari efek non stokastik,
 - a. 0,5 Sv (50 rem) : untuk semua jaringan kecuali mata.
 - b. 0,15 Sv (15 rem) : untuk lensa mata.
2. Untuk membahas efek stokastik.
 - a. NBD untuk penyinaran seluruh tubuh adalah 50 mSv (5 rem) dalam 1 tahun, ini berlaku baik untuk penyinaran seluruh tubuh yang merata maupun tidak merata.

NBD bagi tiap kelompok adalah sebagai berikut :

1. Pekerja Radiasi :

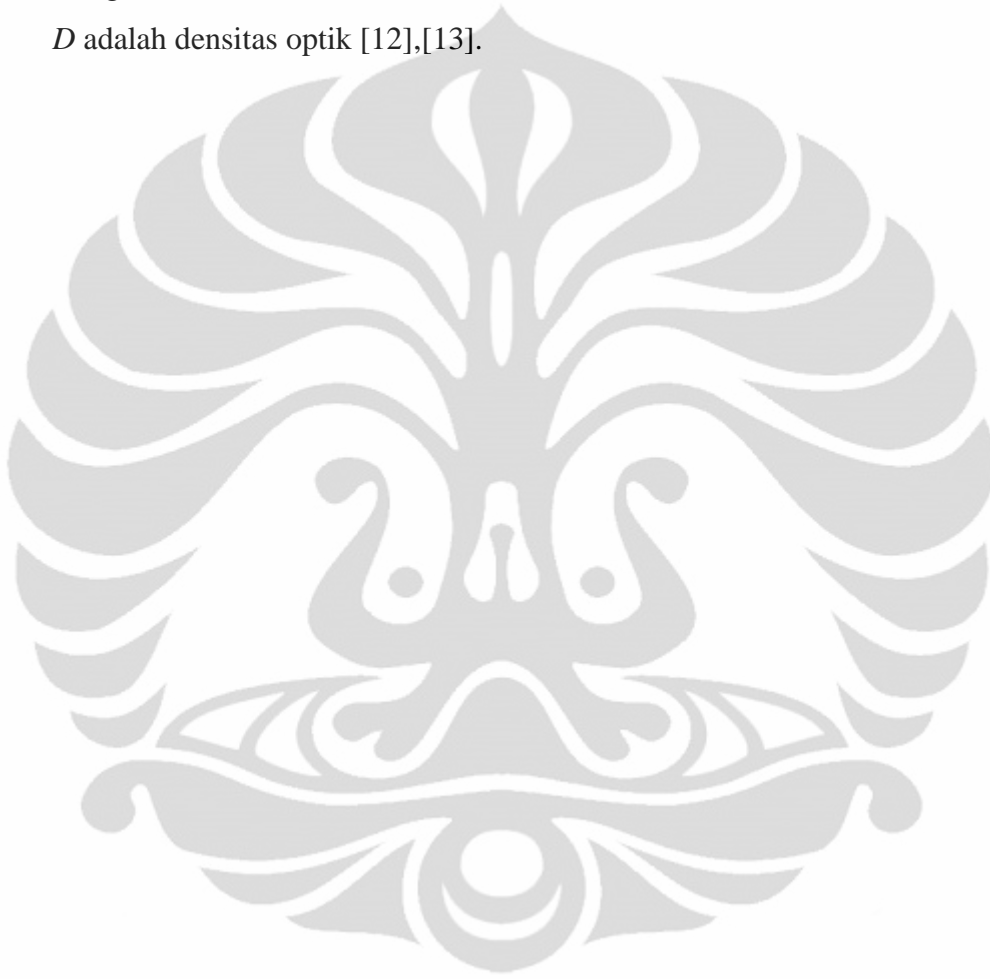
- a. NBD untuk penyinaran seluruh tubuh adalah 50 mSv (5 rem) dalam satu tahun.
 - b. NBD untuk wanita dalam usia subur sama dengan untuk pekerja radiasi pria, khusus untuk abdomen tidak boleh melebihi 13 mSv dalam jangka waktu 13 minggu.
 - c. NBD untuk wanita hamil, selama masa kehamilannya dosis yang diterima janin tidak boleh melebihi 10 mSv.
 - d. NBD untuk penyinaran local, yaitu pada jaringan tertentu dalam tubuh adalah :
 - Batas dosis ekivalen efektif yang dihitung berdasarkan faktor bobot jaringan tidak boleh lebih dari 50 mSv/tahun.
 - Dosis pada tiap organ atau bagian jaringan yang terkena radiasi tidak boleh lebih dari 500 mSv/tahun termasuk untuk tangan, lengan, kaki, tungkai dan kulit, sedangkan lensa mata tidak boleh melebihi 150 mSv/tahun .
2. Siswa dan Magang
- a. Bagi yang berusia di atas 18 tahun adalah 50 mSv/tahun.
 - b. Bagi yang berusia antara 16 – 18 tahun adalah 0,3 dari NBD pekerja radiasi yaitu 15 mSv/tahun.
 - c. Bagi yang berusia di bawah 16 tahun adalah 0,1 dari NBD pekerja radiasi, sedangkan kontribusi dosis radiasi yang diterima dari pendidikan tidak boleh melebihi 0,1 NBD masyarakat umum dan tidak boleh melebihi 0,01 NBD masyarakat umum dalam satu kali penyinaran.
3. Masyarakat Umum.
- a. NBD untuk seluruh tubuh adalah 5 mSv/tahun.
 - b. NBD untuk penyinaran local 50 mSv/tahun dan NBD ekivalen efektif 5 mSv/tahun (a dan b sama dengan 1/10 NBD untuk pekerja radiasi)[7],[11].

2.7 Densitas Optik

Densitas optik didefinisikan sebagai persamaan:

$$D = \log \frac{I_o}{I_i} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dengan I_o adalah intensitas awal, I_i adalah intensitas setelah menembus obyek dan D adalah densitas optik [12],[13].



BAB 3

PERANCANGAN ALAT

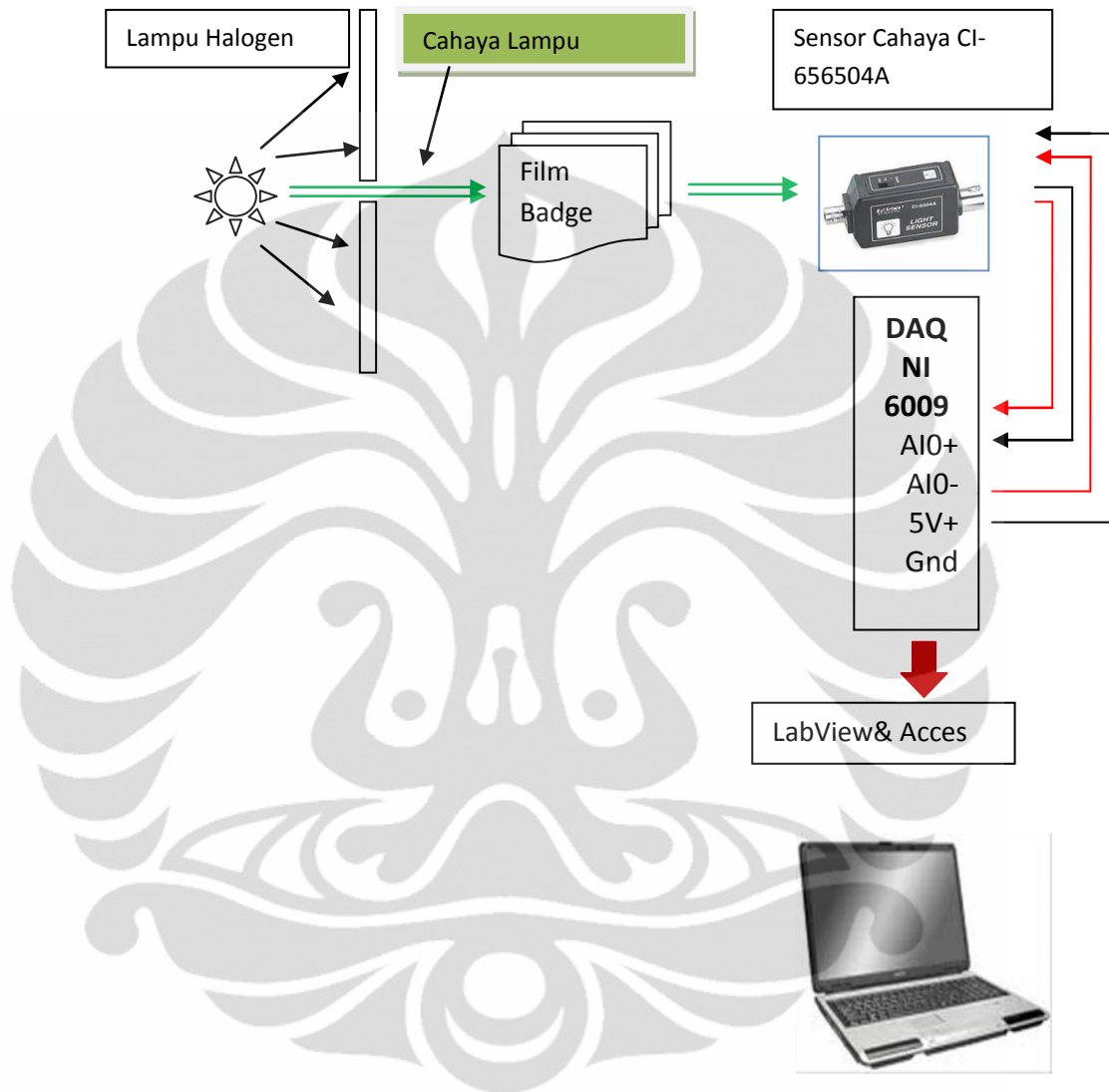
3.1 PERANGKAT KERAS

Dalam perancangan alat ukur densitas dan dosis film badge, sistem yang digunakan adalah sistem yang cukup sederhana yaitu terdiri dari lampu halogen sebagai sumber cahaya, sekat, film badge, DAQ, dan PC(personal computer). Sumber tegangan lampu berasal dari adaptor yang terhubung ke tegangan PLN dan tegangan output adaptor yang digunakan untuk menyalakan lampu halogen adalah 12V. Lampu halogen akan memancarkan cahaya tampak, cahaya tampak tersebut kan menembus melalui lubang kecil yang dibuat pada sekat, kemudian cahaya yang menembus film badge yang telah diletakkan sebelumnya di depan lubang kecil dan atenuasi intensitas cahaya akan ditangkap oleh sensor cahaya CI-6504A.

Output sensor berupa tegangan, data atenuasi intensitas cahaya yang dideteksi sensor akan diakusisi dengan menggunakan NI DAQ-6009 dan komputer untuk mengolah data dengan menggunakan bahasa pemrograman LabVIEW. Dengan menggunakan program LabVIEW dapat cari persamaan fungsi transfer tegangan terhadap densitas. Gambar 3.1 adalah gambar diagram alir sistem pengukuran densitas dan dosis film badge dengan menggunakan sensor CI-6504a sebagai detektor intensitas cahaya yang output berupa Tegangan. Hasil dari pengolahan data akan disimpan dalam bentuk database, program database yang digunakan adalah microsoft acces.

Intensitas cahaya yang diterima oleh sensor akan konversi menjadi besaran tegangan. Intensitas cahaya yang diterima oleh sensor secara langsung disebut dengan intensitas awal(I_0), dan dikonversikan menjadi tegangan awal (V_0). Dan intensitas cahaya yang diterima oleh sensor setelah cahaya melewati film badge disebut dengan intensitas atenuasi/ akhir (I_i), dan dikonversikan menjadi tegangan atenuasi/ akhir (V_i).

Tegangan awal (V_0) dan tegangan atenuasi (V_i) akan didigitalisasi diakusisi dengan menggunakan DAQ. Tegangan yang terbaca akan diproses dengan menggunakan LabVIEW untuk memperoleh nilai densitas dan dosis.

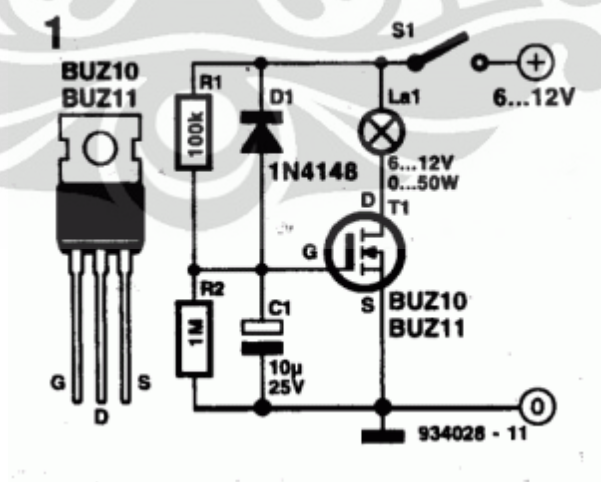


Gambar 3.1 Block diagram pengembangan densitometer dengan menggunakan sensor cahaya CI-6504A

3.1.1 Rangkaian Lampu Halogen

Pada rancang bangun alat ukur densitas dan dosis ini, digunakan lampu halogen sebagai sumber cahaya yang intensitasnya akan diukur oleh sensor cahaya. Penggunaan rangkaian lampu halogen dimaksudkan untuk memperoleh tegangan output yang stabil yang akan digunakan untuk menyalakan lampu. Lampu yang digunakan adalah lampu halogen, karena jenis lampu ini memiliki usia pakai yang sangat panjang. Pada dasarnya bola lampu halogen memiliki masa pakai sekitar 1000 jam dalam kondisi normal. Lampu halogen juga memiliki kelebihan yang lain yaitu lampu ini sangat efisien dan illumisainya juga terang, dibalik kelebihan, ada juga kekurangan dari lampu halogen yaitu banyak menyerap energi.[14] Lampu yang digunakan adalah lampu Halogen 12V dengan daya sebesar 20W. Lampu halogen membutuhkan tegangan DC sehingga rangkaian ini juga didesain untuk menghasilkan output berupa tegangan DC.

Rangkaian ini menggunakan transistor FET yaitu BUZ11 dimana dapat bekerja sampai arus maksimal 30A dan tegangan maksimum gate-nya 12V sehingga rangkaian ini cocok digunakan untuk lampu 12V. Rangkaian ini juga dilengkapi dengan pembagi tegangan dengan menggunakan resistor 470kohm dan 1Mohm, dioda sebagai penyearah dan kapasitor sebagai penstabil tegangan.[15]



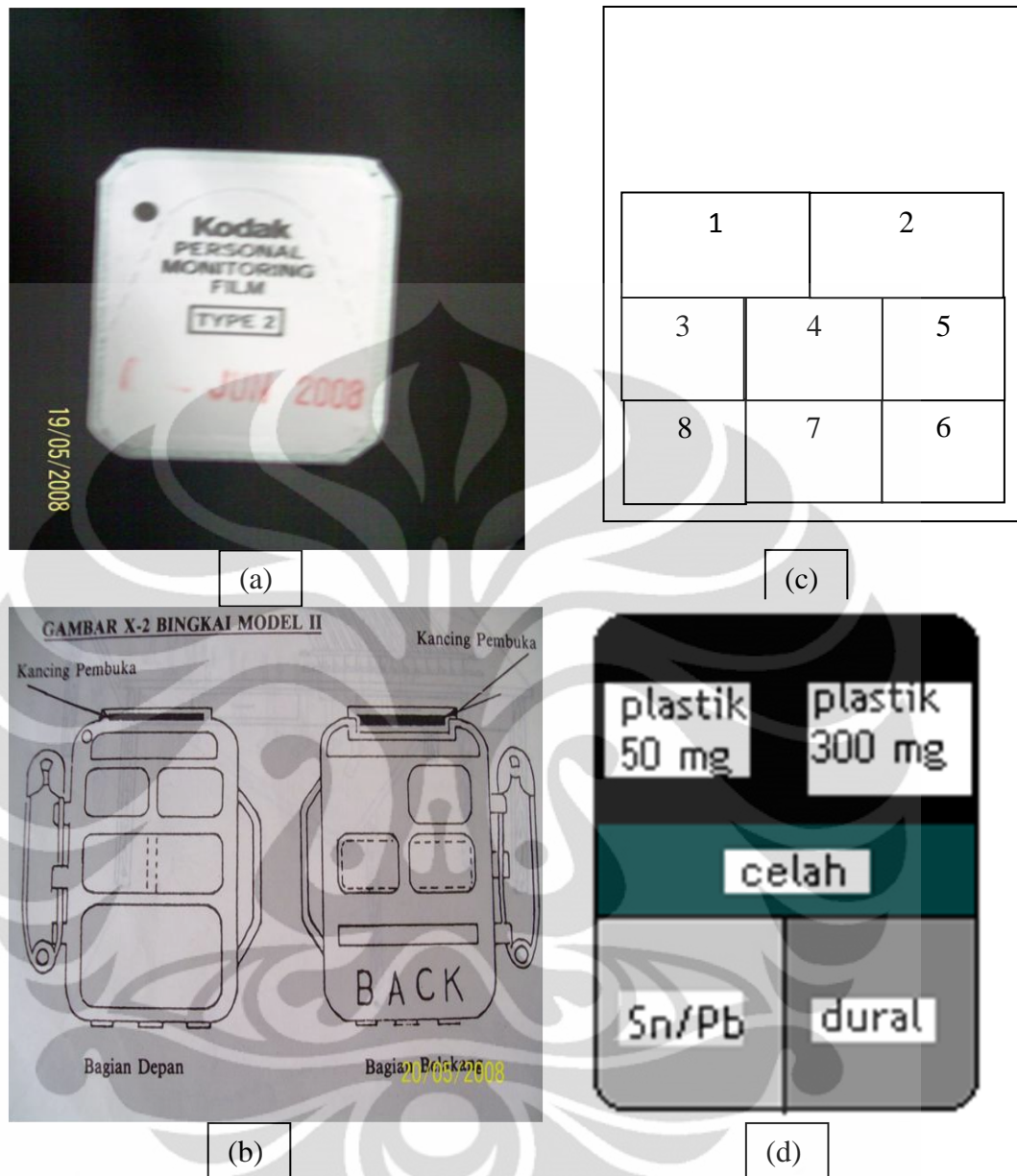
Gambar 3.2. Rangkaian Lampu Halogen[15]

3.1.2 Film Badge

Film Badge merupakan salah satu alat ukur radiasi yang digunakan untuk mencatat dosis radiasi yang terakumulasi selama periode tertentu. Film badge ini ringan, mudah dibawa dan mudah penggunaannya. Disamping itu juga kuat, dapat mengukur radiasi dari 10 mRem sampai dengan 20 Rem (dan dapat dibaca ulang).[16]

Seperti pada komposisi film radiografi, Film badge terdiri dari dua bagian, yaitu film monitoring radiasi dan bingkai film (film holder). Film monitoring ini dibungkus dengan bahan yang kedap cahaya tanpa menggunakan lembaran penguat (intensifying screen / IS). Film memiliki dua emulsi yaitu emulsi cepat dan lambat yang sensitif terhadap dosis 200 μ Sv sampai 1 Sv. Pada penggunaan film badge, film badge dimasukkan kedalam holder. Holder berfungsi sebagai filter radiasi yang diterima oleh si pekerja radiasi. Susunan dari filter dapat dilihat pada gambar 3.3.[17]

Gambar 3.3 (a) gambar film Badge yang masih dibungkus dengan kertas pelindung. Fungsi dari kertas pelindung agar film tidak tereduksi langsung ke udara bebas dan tidak tergores-gores ketika dimasukkan kedalam holder/filter. Gambar 3.3 (b) adalah gambar bingkai filter pada bagian belakang dan bagian depan. Dan untuk gambar 3.3 (c) dan (d) adalah bagian-bagian yang akan kena radiasi dan jenis filternya.



Gambar 3.3. Gambar film badge dan susunan filter pada holder: (a) film badge, (b) film holder, (c) susunan film badge (d) film badge yang kena radiasi dan sudah diprosesing[16]

Keterangan susunan film badge pada gambar 3.3 (c):

- 1) Tanpa filter (Open Window)
- 2) Plastik, tebal 0,5 mm
- 3) Plastik, tebal 1,5 mm
- 4) Plastik, tebal 3,0 mm
- 5) Aluminium (Al), tebal 0,6 mm
- 6) Tembaga (Cu), tebal 0,3 mm
- 7) Sn, tebal 0,8 mm + Pb, tebal 0,4 mm
- 8) Cd, tebal 0,8 mm + Pb, tebal 0,4 mm.

Untuk menentukan dosis dari sebuah film badge, harus melakukan pengukuran dalam beberapa tahap yaitu mengukur densitas plastik, snpb dan dural. Kemudian masing2 nilai densitas dirubah kedalam bentuk dosis dengan menggunakan kurva kalibrasi atau dengan menggunakan fungsi transfer yang dibuat dengan menggunakan LabView. Dosis total yang diperoleh dari plastik, dural dan snpb yang diukur dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$H_E = \frac{1}{6} \{ [P_{1.2}] - [Al] \} + \frac{1}{60} [Al] + [CdPb] \dots \dots \dots (3.1)$$

Atau dengan rumus

$$\text{Nilai dosis total} = \frac{\text{dosis dural}}{50} + \frac{\text{Dosis plastik 300mg} - \text{dosis dural}}{10} + \text{dosis SnPb} \dots \dots (3.2)$$

Keterangan:

1. H_E : dosis γ yang diterima dosimeter film.
2. $[P_{1.2}]$: dosis semu di bawah filter plastik tebal 1,5 mm
3. $[Al]$: dosis semu di bawah filter Aluminium tebal 0,6 mm
4. $[CdPb]$: dosis semu di bawah filter CdPb 0,8 mm + Pb 0,4 mm
5. $[SnPb]$: dosis semu dibawah filter SnPb

3.1.3. Sensor Cahaya Pasco CI-6504A

CI-6504A Pasco Light Sensor dirancang untuk digunakan dengan PASCO computer interface untuk melakukan pengukuran intensitas cahaya. Sensor CI-6504A cocok digunakan untuk eksperimen pengukuran cahaya monokromatik, pengukuran dapat dilakukan pada intensitas cahaya siang hari.[18]

Sensor ini dilengkapi dengan switch untuk mengatur besar penguatan. Besar penguatannya bisa 1x, 10x dan 100x, dengan intensitas cahaya yang di terima sebesar 500,50 dan 5 lux. Sensor ini juga dapat digunakan dengan atau tanpa optik probe. Elemen penginderaan dari CI-6504A adalah Si PIN photodiode. photodiode adalah memiliki responsif lebar spektrum mulai dari 320 nm sampai 1100 nm[16].

Spesifikasi PIN konektor dari sensor cahaya CI-6504A:

1. Analog output (+), 0 to 5v
2. Analog output (-), signal ground
3. No connection
4. +5V dc Power
5. Power Ground



Gambar 3.4 Konektor DIN Spesifikasi untuk CI-6504A[18]

3.1.4. DAQ Card NI 6009

DAQ Card adalah sebuah *hardware* yang berfungsi sebagai ADC ataupun DAC, dari sebuah sensor ataupun rangkaian output. DAQ akan menterjemahkan nilai tegangan yang diberikan oleh output sensor kedalam bentuk digital, nilai ini yang dikirimkan kedalam komputer, melalui *port* USB. DAQ Card yang digunakan dalam penelitian ini adalah DAQ Card NI 6009. Dengan kemampuan seperti pada Lampiran, maka DAQ Card 6009 dapat menjadi sebuah *hardware* data akuisisi

yang sudah cukup baik untuk kebutuhan laboratorium. *Sampling rate* 100 KS/s, maka *transmisi* data monitoring suatu sensor tidak menjadi suatu masalah.

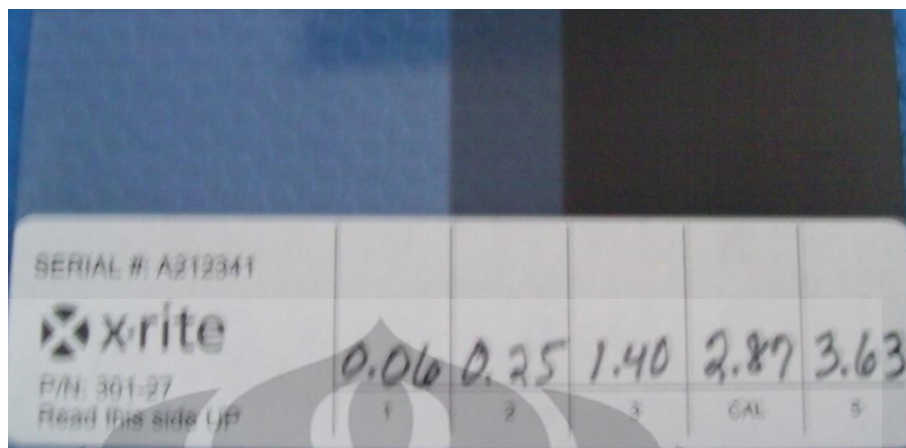
Port yang digunakan pada DAQ 6009 adalah port analog GND dan Aio, port digital GND dan +5V digunakan sebagai sumber tegangan DC untuk sensor cahaya 6504A. NI 6009 ini digunakan karena DAQ Card ini mengambil sampel secara simultan dan continuous[19].



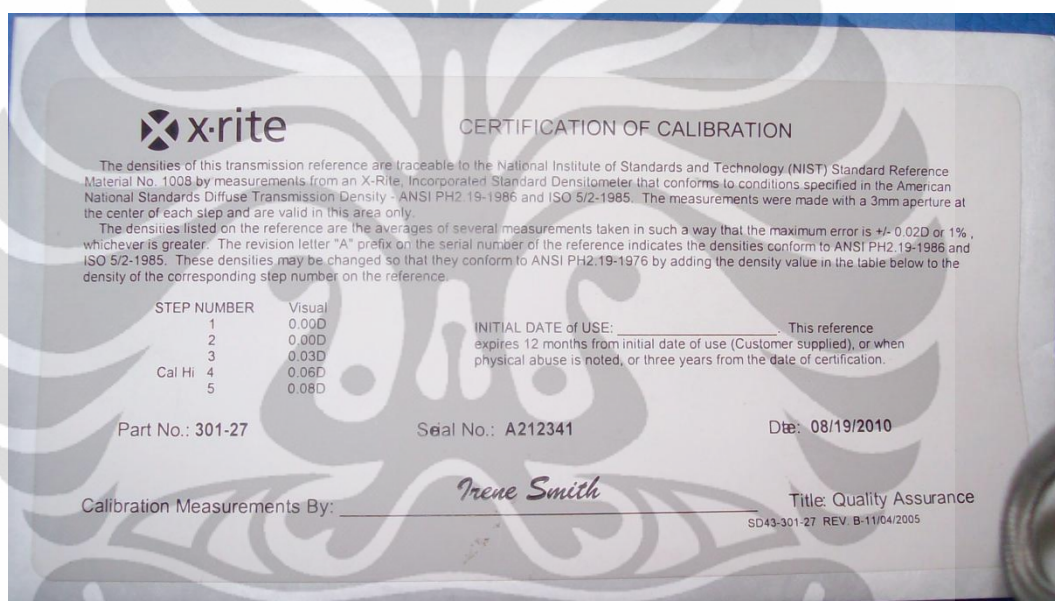
Gambar 3.5. NI DAQ USB 6009[19]

3.15 Film Kalibrasi Densitas.

Film kalibrasi densitas terdiri dari 5 jenis densitas, masing-masing memiliki tingkat kecerahan yang berbeda. Film kalibrasi yang digunakan telah disertifikasi oleh Nasional Institute of standards and technology(NIST), setiap strip mempunyai toleransi pengukurannya yaitu $\pm 0,02$ OD atau 1 %. Untuk spesifikasi lebih detail dapat dilihat pada gambar dibawah[2].



(a)



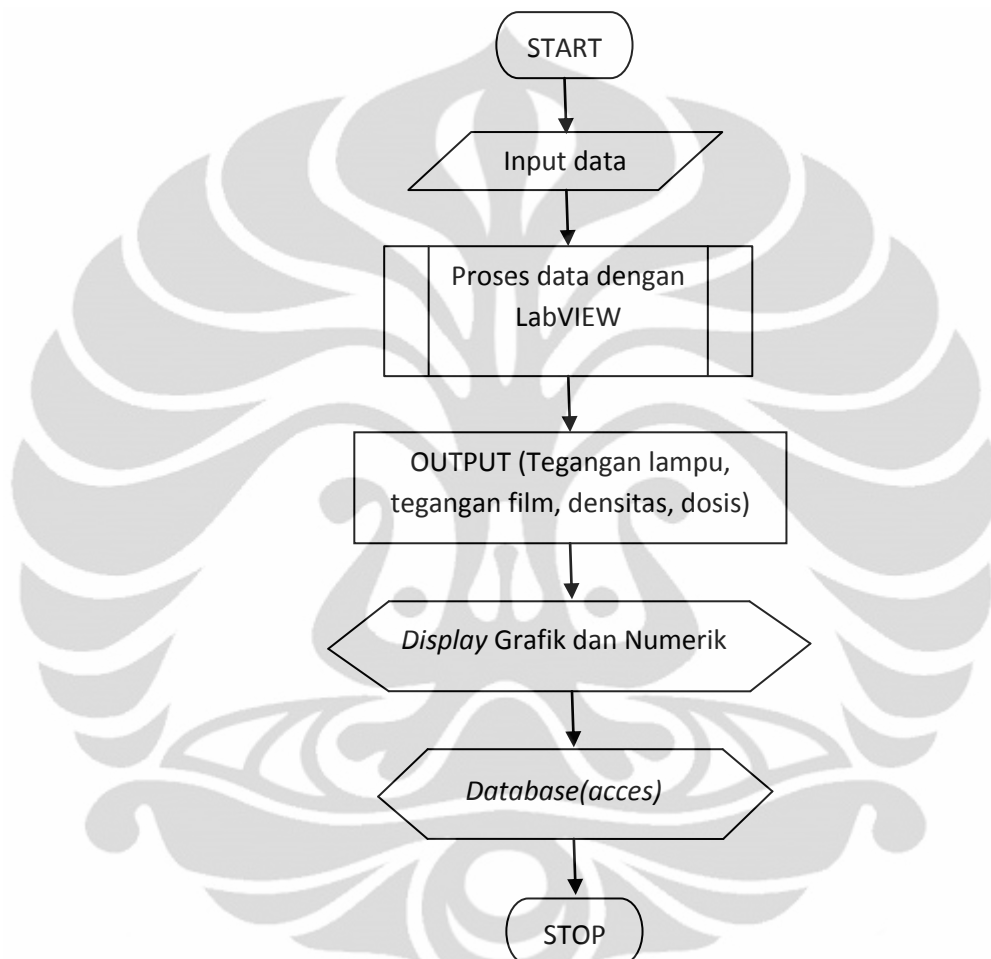
(b)

Gambar 3.6 Film Kalibrasi(a) dan Sertifikasi kalibrasinya(b)

Gambar 3.6 (a) adalah gambar film kalibrasi dan bagian-bagian strip yang tingkat kecerahan dan densitasnya berbeda. Pada film kalibrasi terdapat 5 strip, masing-masing strip sudah ditentukan nilai densitasnya oleh lembaga sertifikasi Internasional, film kalibrasi ini digunakan untuk mengkalibrasi dari densitometer-densitometer yang digunakan oleh BPFK(Balai Pengawasan Fasilitas Kesehatan). Nilai densitas dari masing-masing strip dapat dilihat di gambar, yaitu 0.06, 0.25, 1.40, 2.87 dan 3.63. Dan gambar 3.6 (b) adalah bukti pengesahan film kalibrasi. Dan pada masing-masing strip memiliki toleransi. masing-masing toleransinya dari strip1-strip 5: 0.00D, 0.00D, 0.03D, 0.06D dan 0.08D.

3.2 PERANGKAT LUNAK

Pada penelitian ini bahasa pemrograman perangkat lunak yang digunakan adalah bahasa LabView 8.5 dan Microsoft acces. Secara umum diagram alir program digambarkan seperti berikut:



Gambar 3.7 Aliran Program secara umum proses pengukuran densitas dan dosis film badge

3.3 Prinsip Kerja Rancangan Secara Umum

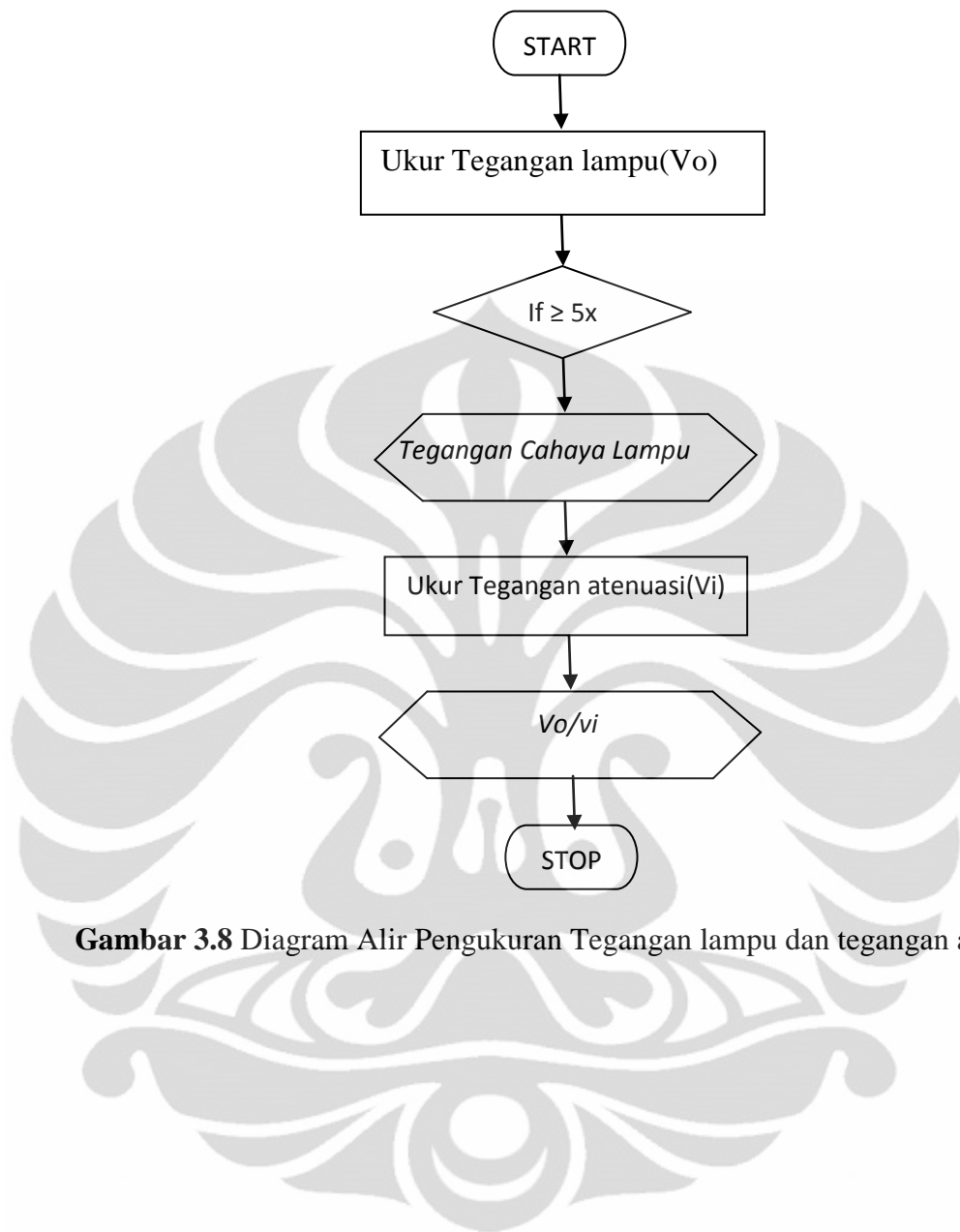
Pada sistem ini film badge diletakkan diantara Lampu halogen dan sensor cahaya CI-6504A. Cahaya lampu halogen akan menembus film badge, cahaya atenuasi akan dideteksi oleh sensor dirubah menjadi digital dan diolah oleh DAQMX 6009

3.3.1 Program Aplikasi Komputer

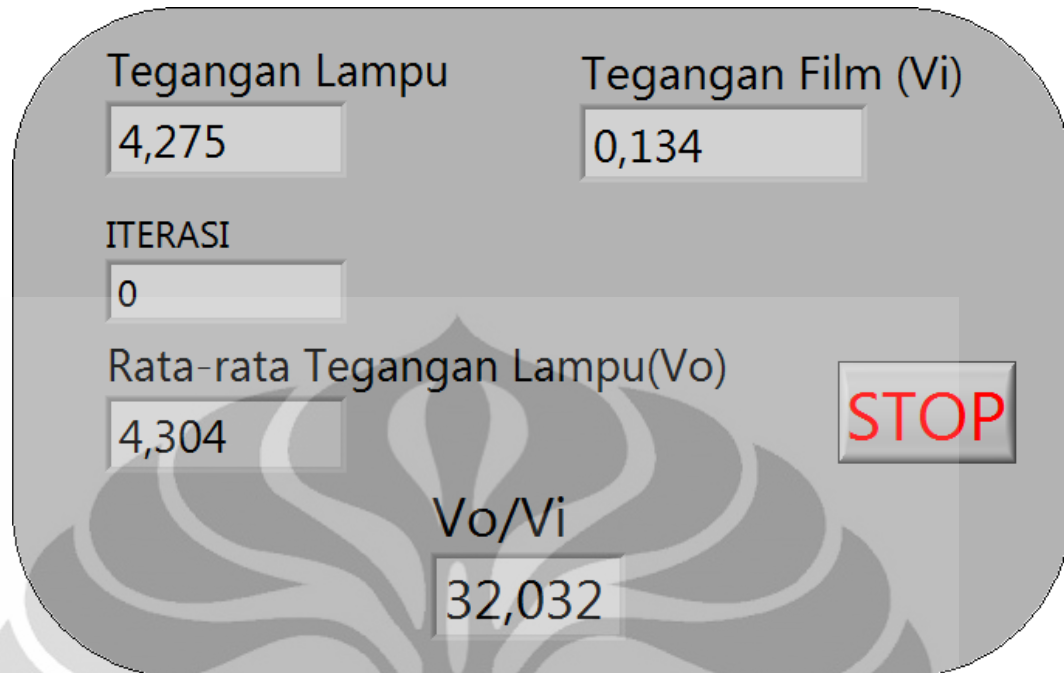
Program aplikasi komputer dibuat dengan menggunakan LabVIEW 8.5. Dengan menggunakan program ini dilakukan proses pengolahan data dan pengiriman data hasil ke dalam sistem data base. Program aplikasi komputer dibagi menjadi dua bagian yaitu program pengukuran dan program Data base. Dimana dalam pengukuran dosis terhadap program penganalisa tegangan terhadap densitas dan program penganalisa densitas terhadap dosis, dan pada akhirnya semua data dibandingkan antara data pengukuran secara manual dengan data hasil pengukuran digital dan data kalibrasi.

3.3.2 Program Pengukuran Tegangan Cahaya Lampu & Cahaya atenuasi

Pada program ini dilakukan pengukuran tegangan lampu(V_o) dan tegangan lampu(V_i) setelah cahaya menembus film badge. Sehingga dengan mengetahui data tersebut, program dapat memberikan informasi mengenai perbandingan dari tegangan lampu sebelum dipasang film badge dengan tegangan lampu setelah dipasang film badge. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan sensor cahaya CI-6504A. Berikut ini diagram alir program pengukuran tegangan lampu dan tegangan film badge.



Gambar 3.8 Diagram Alir Pengukuran Tegangan lampu dan tegangan atenuasi



Gambar 3.9 Front panel pengukuran V_o , V_i dan V_o/V_i

Dengan mengetahui nilai V_o/V_i , penulis dapat menentukan fungsi transfer tegangan terhadap densitas. Nilai tegangan lampu diukur sebanyak 5 kali kemudian dirata-ratakan. Setelah V_o diperoleh, tegangan film dapat diukur. Program disetting secara bertahap dengan menggunakan LabVIEW. setelah diperoleh nilai V_o dan V_i , V_o dibagi dengan V_i diperoleh konstanta yang akan dibandingkan dengan densitas film yang telah diukur dengan menggunakan densitometer portable.

3.3.3 Program Perhitungan Densitas

Program perhitungan densitas dirancang berdasarkan rumus yang fisika yang untuk mengukur intensitas cahaya. Yaitu perbandingan nilai Intensitas awal dengan Intensitas atenuasi, yang dirumuskan pada persamaan berikut.[19]

$$I = I_o \cdot e^{-\mu x} \dots\dots\dots(3.3)$$

Dengan menggunakan persamaan (3), diperoleh nilai $\ln (V_o/V_i)$ sebagai nilai konstan yang akan dibandingkan dengan nilai densitas, sehingga diperoleh persamaan liniernya sebagai berikut.

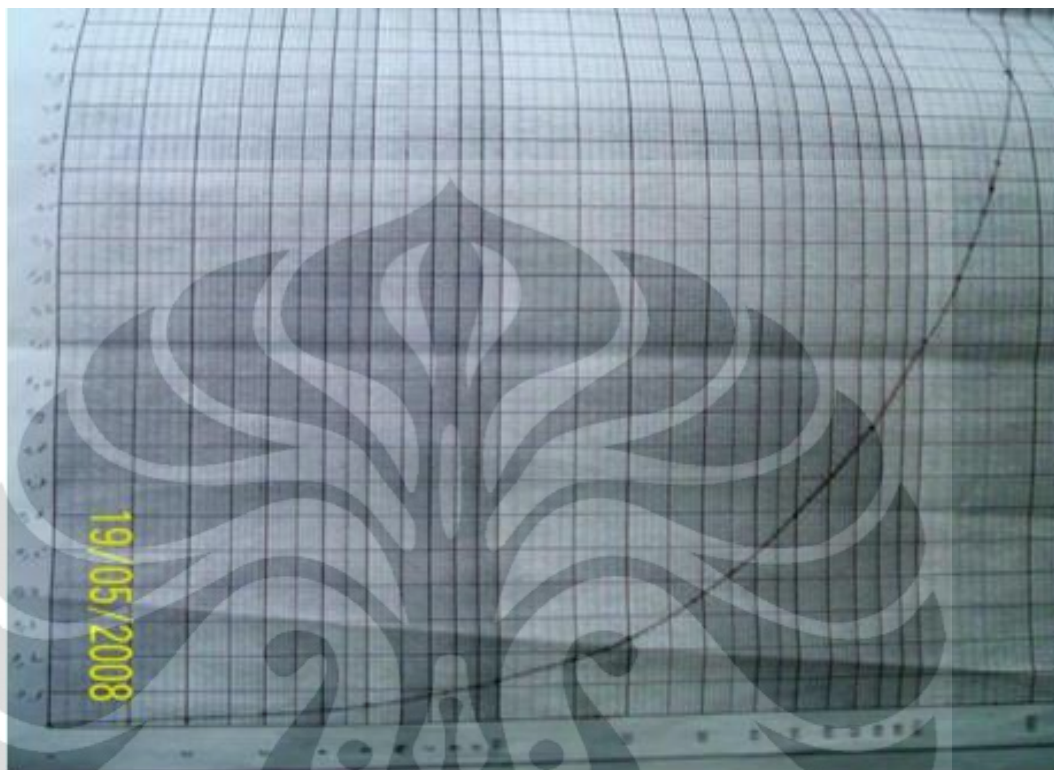
$$y=0.02537+0.46113x.....(3.4)$$

Persamaan diatas diperoleh dengan cara memplot data tegangan film kalibrasi (dapat dilihat Pada tabel 4.6) dengan data densitas yang diukur dengan menggunakan densitometer portable. Kemudian dicari persamaan garis dari hasil plot data dengan menggunakan microsoft excel. Nilai x adalah nilai V_o/V_i dan nilai y adalah densitas. Nilai densitas yang diperoleh akan diplot dengan data dosis dari BPFK untuk memperoleh nilai dosis film.

3.3.4 Program Perhitungan Dosis

Program perhitungan dosis film badge dibuat berdasarkan perhitungan dosis secara manual. Perhitungan dosis secara manual dilakukan melalui beberapa tahap. Film badge memiliki 3 filter yang masing-masing penyerapan dosisnya berbeda, yaitu filter plastik, SnPb, dan Dural. Ketiga filter tersebut diukur nilai densitasnya dengan menggunakan densitometer portable, nilai densitas yang terukur dikonversi terlebih menjadi dosis dengan menggunakan tabel kalibrasi kemudian nilai dosis yang diperoleh dimasukkan ke dalam persamaan (1) atau (2).

Untuk memperoleh nilai dosis secara manual digunakan tabel kalibrasi densitas dengan dosis. Dapat dilihat pada gambar 3.10 dibawah.



Gambar 3.10 Kurva kalibrasi film badge.[16]

Perhitungan dosis secara manual dapat dilakukan seperti contoh berikut. Dapat dilihat pada tabel dibawah ini. Ada 3 orang pekerja radiasi dengan masing2 nilai densitas film badgenya.

Tabel 3.1 Contoh perhitungan nilai densitas pada film badge

| Film | Densitas film badgge | | |
|--------------|----------------------|-----------------|------|
| | Al | Pl ₂ | CdPb |
| Yakub | 0,37 | 0,43 | 0,31 |
| Harri | 1,25 | 1,29 | 1,18 |
| Riko | 1,03 | 1,07 | 0,8 |
| Ivan | 1,59 | 1,58 | 1,34 |

Nilai dosis dari masing densitas dicari dengan menggunakan tabel kalibrasi film diatas, maka diperoleh nilai dosisnya sebagai berikut.

Tabel 3.2 Contoh perhitungan nilai dosis semua pada film badge

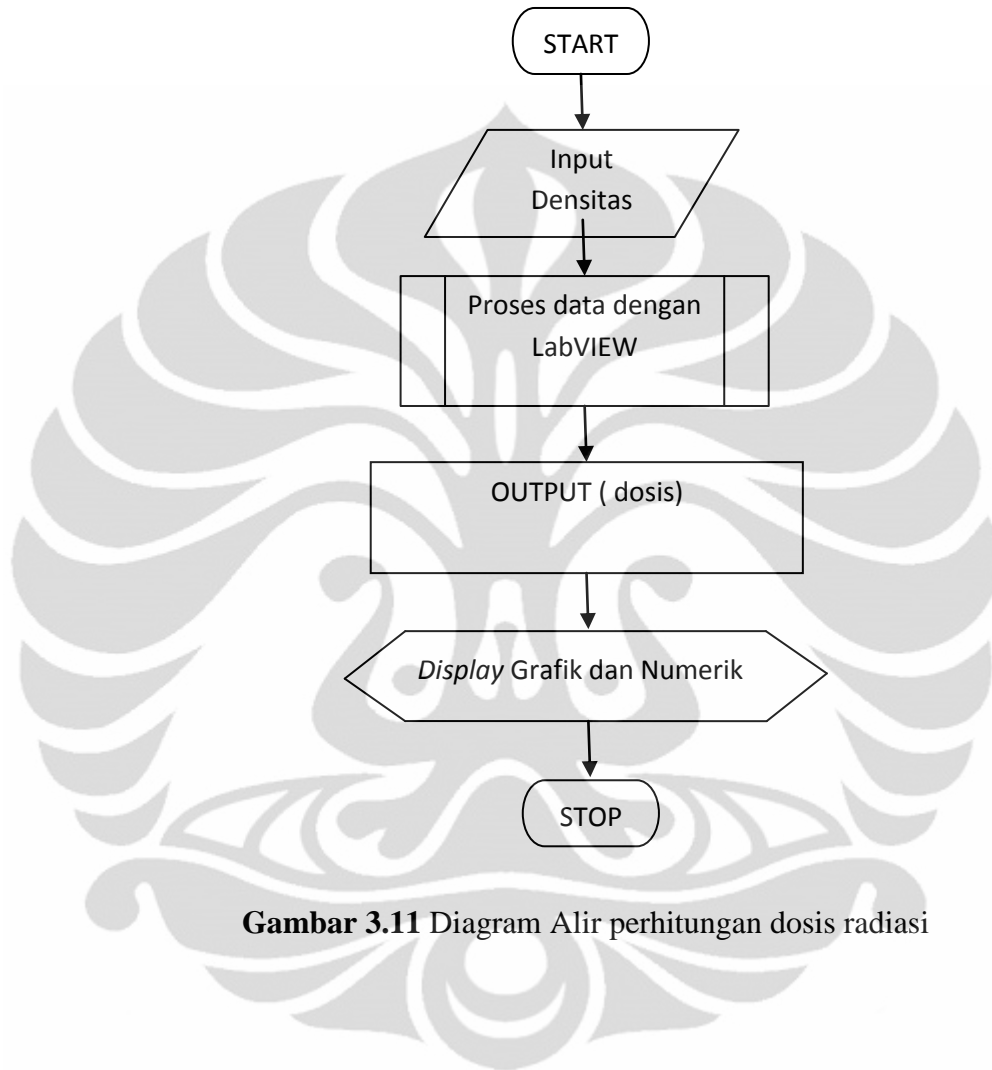
| Film | Dosis semu (kalibrasi) | | |
|--------------|------------------------|-----------------|-------|
| | Al | Pl ₂ | CdPb |
| Yakub | 3,45 | 4,10 | 2,80 |
| Harri | 12,94 | 13,38 | 12,19 |
| Riko | 10,57 | 11,01 | 8,09 |
| ivan | 16,61 | 16,50 | 13,91 |

Nilai Al, P12 dan CdPb dimasukkan ke dalam persamaan diatas, maka diperoleh nilai dosisnya:

Tabel 3.3 Contoh perhitungan nilai dosis total pada film badge

| Film | Dosis (mSv) |
|--------------|-------------|
| Yakub | 2,97 |
| Harri | 12,48 |
| Riko | 8,34 |
| Ivan | 14,17 |

Dalam pembuatan program perhitungan secara digital ada beberapa tahapan yang harus dilakukan. Dapat dilihat diflowchart pada gambar 3.11 dibawah.



Gambar 3.11 Diagram Alir perhitungan dosis radiasi

Nilai densitas yang diperoleh akan diolah dengan fungsi transfer yang diperoleh dari hasil plot densitas dengan dosis pada kurva kalibrasi manual. Beberapa nilai densitas dan dosis yang diperoleh dari kurva kalibrasi pada tabel 3.3 diplot dengan menggunakan program labview.

Tabel 3.4 Data plot Densitas dan Dosis

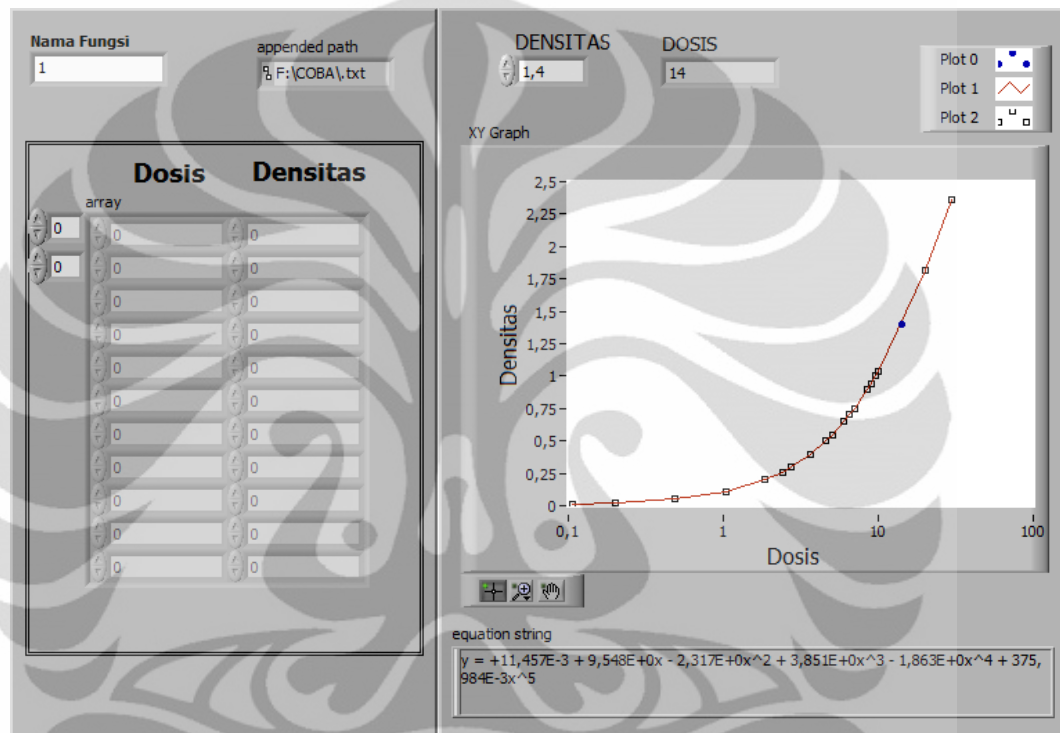
| Dosis(mRem) | Densitas(OD) |
|-------------|--------------|
| 0,1 | 0,01 |
| 0,2 | 0,02 |
| 0,5 | 0,05 |
| 1,05 | 0,11 |
| 1,8 | 0,2 |
| 2,4 | 0,26 |
| 2,78 | 0,3 |
| 3,7 | 0,4 |
| 4,6 | 0,5 |
| 5 | 0,55 |
| 6 | 0,65 |
| 6,5 | 0,7 |
| 7 | 0,75 |
| 8,5 | 0,9 |
| 9 | 0,94 |
| 9,65 | 1 |
| 10 | 1,04 |
| 20 | 1,82 |
| 30 | 2,36 |

Hasil plot tabel diatas menghasilkan persamaan:

$$y = +11,457*10^{-3} + 9,548*10^{+0x} - 2,317*10+0x^2 + 3,851*10^{+0}*x^3 - 1,863*10^{+0}*x^4 + 375,984*10^{-3}*x^5 \dots\dots\dots(3.5)$$

y adalah nilai dosis dan x nilai densitas.

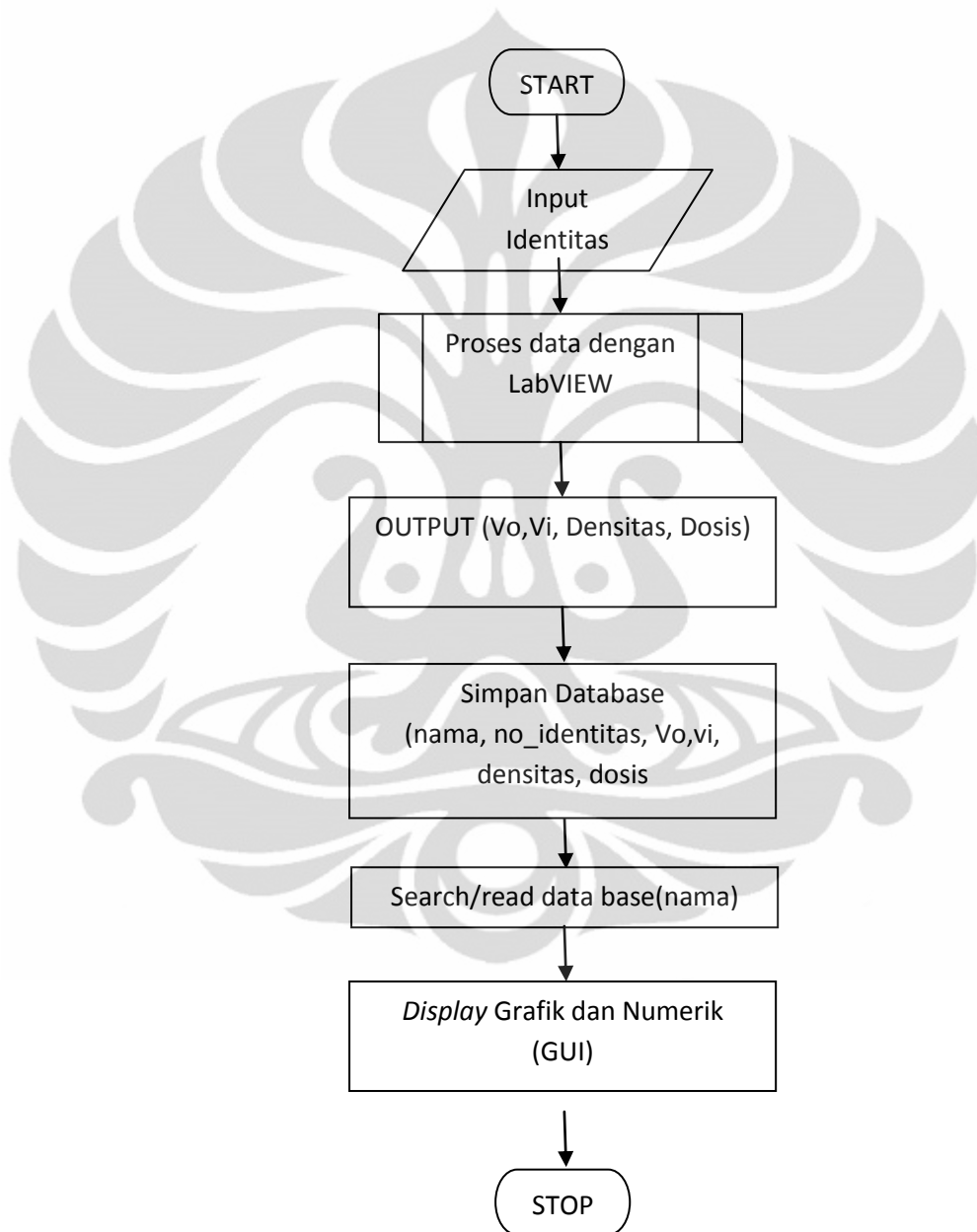
Hasil tampilan pada front panel di LabVIEW dapat dilihat pada gambar 3.12 dibawah. Pada front panel terdapat kurva hasil plot data dosis dengan densitas. Untuk mencari nilai dosis, terlebih dahulu masukkan nilai densitas pada kolom densitas, kemudian program di RUN. Maka ditampilkan nilai dosis pada kolom dosis dan pada kurva akan muncul titik warna biru. Titik tersebut adalah titik potong dari hasil plot densitas dengan dosis.



Gambar 3.12 Tampilan front panel pengukuran dosis

3.3.5 Program Penyimpanan Data dengan Sistem Database

Program sistem penyimpanan data dibuat dengan menggunakan penggabungan LabView dengan microsoft acces. Dalam pembuatan sistem penyimpanan database ada dua hal yang dilakukan yaitu proses penyimpanan(write) dan proses pembacaan(search/read).



Gambar 3.13 Diagram alir program penyimpanan data base dan tampilan GUI

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

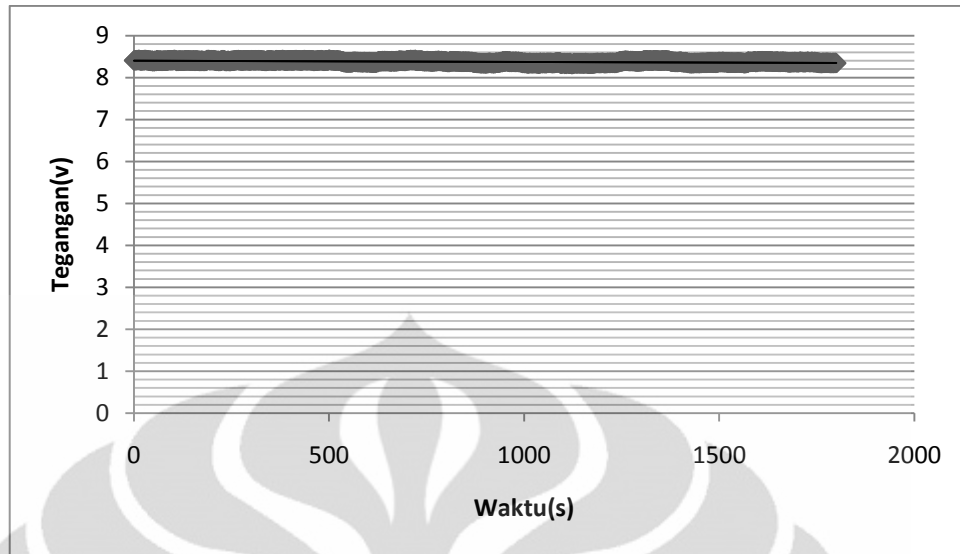
Pada bab ini akan dibahas tentang pengujian dan analisa sistim yang telah dikerjakan. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistim apakah telah berfungsi seperti apa yang diharapkan dan menganalisa apabila terjadi kegagalan. Pengujian ini dilakukan meliputi pengamatan karakterisasi output rangkaian lampu, penguat instrumentasi sensor cahaya CI-6504A, nilai densitas, dan dosis.

4.1 Pengujian Output rangkaian Lampu

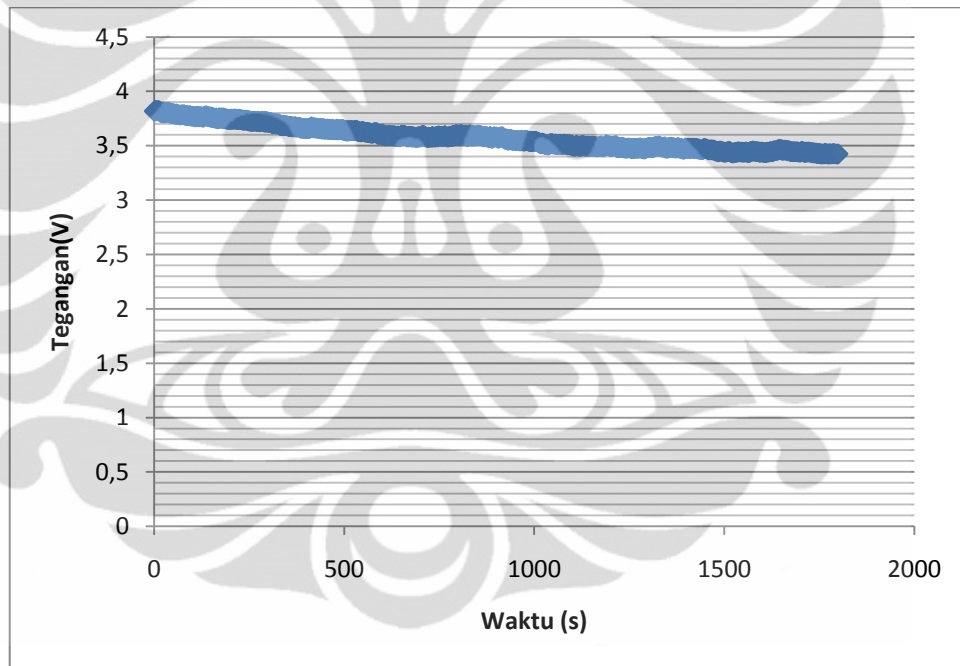
Pengujian rangkaian lampu dilakukan dengan menggunakan tegangan 12 Volt Dc yang bersumber dari Adaptor DC 1 ampere. Dilakukan dua jenis pengujian dengan memvariasikan tegangan input dan pengujian dengan memberikan beban lampu halogen. Pengujian dilakukan selama 30 menit (1800 detik). Berikut ini data pengujian yang diambil setiap 5 menit.

Tabel 4.1 Pengujian Tegangan rangkaian tanpa lampu dan Tegangan Rangkaian setelah dibebani oleh lampu

| Waktu(s) | Tegangan Rangkaian tanpa lampu(V) | Tegangan Rangkaian dengan Lampu(V) |
|----------|-----------------------------------|------------------------------------|
| 1 | 8,41 | 3,82 |
| 300 | 8,41 | 3,71 |
| 600 | 8,36 | 3,61 |
| 900 | 8,34 | 3,57 |
| 1200 | 8,35 | 3,49 |
| 1500 | 8,37 | 3,44 |
| 1800 | 8,34 | 3,43 |



Gambar 4.1 Grafik Pengujian Tegangan rangkaian tanpa lampu selama 30 menit



Gambar 4.2 Grafik Pengujian Tegangan Rangkaian dengan Lampu selama 30 menit

Pengujian rangkaian tanpa menggunakan lampu maksudnya mengukur Output tegangan dari gambar 3.2 yaitu rangkaian halogen. Pada rangkaian tersebut, komponen lampu dilepas, sehingga sisi positif dan negatif langsung di hubungkan ke multimeter digital atau ke DAQ dan diukur nilai tegangan yang terbaca. Sedangkan pengujian tegangan rangkaian dengan lampu maksudnya

adalah mengukur tegangan output dari gambar 3.2 yaitu rangkaian halogen. Pada rangkaian tersebut tegangan lampu langsung di baca dengan menggunakan multimeter atau DAQ.

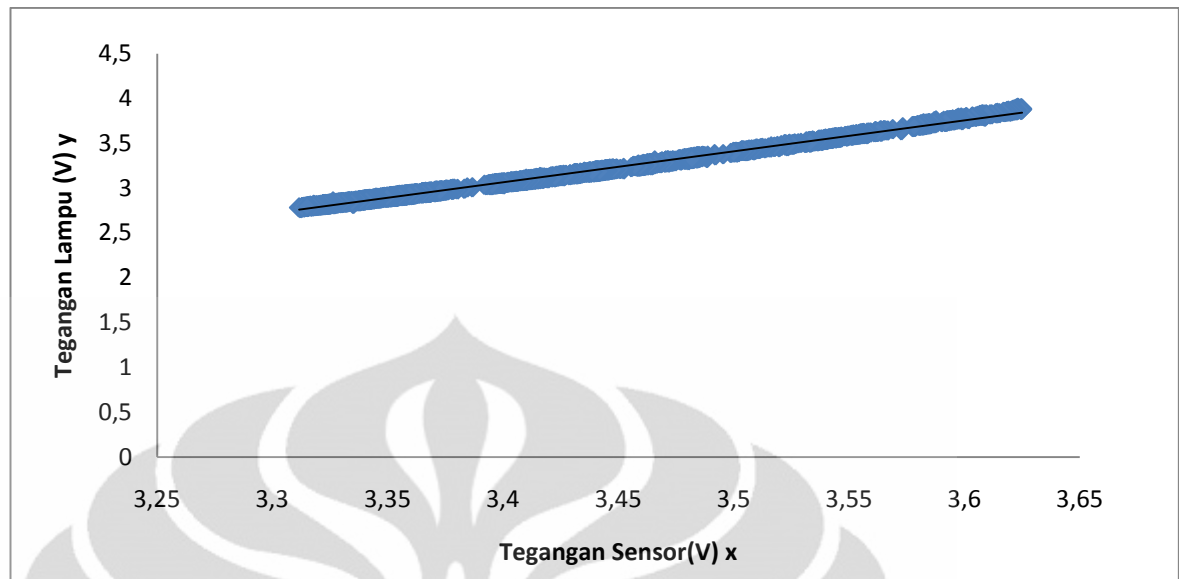
Dari data yang diperoleh dari hasil pengujian, tegangan rangkaian tanpa lampu dan tegangan rangkaian dengan lampu semakin lama semakin menurun dengan bertambahnya waktu pengukuran. Penurunan tegangan ini disebabkan mulai berkurangnya kemampuan adaptor untuk mempertahankan kestabilannya. Kestabilan adaptor dipengaruhi oleh faktor temperatur, temperatur adaptor semakin panas seiring dengan bertambahnya waktu penggunaan. Hal ini disebabkan karena lampu halogen membutuhkan energi yang banyak.[14] Sehingga adaptor harus maksimal dan stabil dalam menyuplai tegangan ke rangkaian. Dengan demikian penggunaan adaptor yang efektif dari menit 0 sampai menit ke 5 karena dari data yang diperoleh, antara range 0-5 menit tegangan masih stabil.

4.2 Pengujian output sensor

Pengujian sensor dilakukan dengan cara mengukur intensitas lampu dengan tegangan input lampu sebesar 12 Volt. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui perbandingan antara tegangan rangkaian lampu(pada subbab 4.1) dengan tegangan sensor. Tegangan sensor diperoleh dari hasil pengukuran intensitas lampu halogen. Intensitas lampu diukur dengan sensor CI-6504A. Pengujian dilakukan selama 30 menit. Pada tabel 4.2 dapat dilihat data hasil pengujian yang diambil tiap 5 menit.

Tabel 4.2 Pengujian Tegangan Lampu dan Tegangan Sensor

| Waktu (s) | Tegangan Lampu(V) | Tegangan Sensor(V) |
|-----------|-------------------|--------------------|
| 1 | 3,62 | 3,89 |
| 300 | 3,54 | 3,54 |
| 600 | 3,46 | 3,27 |
| 900 | 3,41 | 3,09 |
| 1200 | 3,37 | 2,95 |
| 1500 | 3,34 | 2,87 |
| 1800 | 3,31 | 2,79 |



Gambar 4.3 Grafik Pengujian Tegangan Lampu Vs Tegangan Sensor selama 30 menit

Berdasarkan grafik dan data yang diperoleh, tegangan lampu menurun intensitas yang dihasilkan lampu juga menurun, dibuktikan dengan menurunnya tegangan sensor. Dengan demikian sensor masih bekerja dengan baik. Penguatan sensor yang digunakan pada saat pengujian ini dilakukan dengan penguatan 10 Gain.

4.3 Pengujian Penguatan Sensor CI-6504A

Pengujian penguatan sensor CI dilakukan dengan menggunakan film kalibrasi. Pengujian dilakukan dengan mengukur nilai tegangan sensor tanpa film (V_o) dan mengukur tegangan lampu setelah cahaya lampu melewati film kalibrasi (V_i). V_o adalah tegangan hasil pengukuran intensitas cahaya lampu dengan menggunakan sensor cahaya CI-6504A, dengan pengukuran dilakukan secara langsung tanpa ada penghalang antara lampu dan sensor. V_i adalah tegangan hasil pengukuran intensitas cahaya lampu dengan menggunakan sensor cahaya CI-6504A, dengan pengukuran dilakukan setelah cahaya lampu melewati film kalibrasi/ film badge. V_i dan V_o diukur pada setiap penguatan, yaitu penguatan 1x, 10 x dan 100x. Berikut ini tabel hasil pengukuran V_i dan V_o dari masing-masing penguatan. V_o pada pengukuran ini adalah hasil pengukuran tegangan sensor setelah cahaya melewati film kalibrasi.

Tabel 4.3 Pengujian Sensor CI-6504A dengan penguatan 1x

| Strip ke- | Vi | Vo |
|-----------|-------|-------|
| 1 | 0,400 | 0,394 |
| 2 | 0,358 | 0,228 |
| 3 | 0,338 | 0,007 |
| 4 | 0,332 | 0,005 |
| 5 | 0,335 | 0,005 |

Tabel 4.4 Pengujian Sensor CI-6504A dengan penguatan 10x

| Strip ke- | vo | vi |
|-----------|-------|-------|
| 1 | 3,047 | 2,408 |
| 2 | 2,971 | 1,277 |
| 3 | 2,815 | 0,093 |
| 4 | 2,789 | 0,006 |
| 5 | 2,806 | 0,005 |

Tabel 4.5 Pengujian Sensor CI-6504A dengan penguatan 100x

| Strip ke- | Vi | Vo |
|-----------|-------|-------|
| 1 | 4,794 | 4,793 |
| 2 | 4,794 | 4,791 |
| 3 | 4,794 | 0,251 |
| 4 | 4,794 | 0,009 |
| 5 | 4,794 | 0,009 |

Sensor memiliki 3 Penguatan yang masing-masing penguatan memiliki kelebihan dan kelemahan masing-masing. Pada penguatan 1x, kemampuan sensor untuk mengukur tegangan hanya akurat pada strip ke 1 dan strip ke 2, pada strip berikut pembacaan tegangan oleh sensor sudah tidak akurat. Pada penguatan penguatan 10x, kemampuan sensor untuk mengukur tegangan hanya akurat pada strip ke 1 sampai strip ke 3. Pada strip ke 4 dan strip ke 5 sensor hasil pengukuran kurang akurat. pada penguatan 100x, sensor lebih akurat untuk mengukur strip ke 3 sampai strip ke 5. Dari masing-masing kelebihan dan kekurangan, data yang digunakan untuk menentukan fungsi transfer adalah data yang hasil pengukuran pengukurannya paling baik pada masing-masing strip. Data-data yang digunakan dapat dilihat ditabel dibawah ini.

Tabel 4.6 Pengujian Sensor CI-6504 dari setiap penguatan

| Gain | Strip ke- | Vo | Vi |
|------|-----------|-------|-------|
| 1 | 1 | 0,400 | 0,394 |
| 1 | 2 | 0,358 | 0,228 |
| 10 | 3 | 2,815 | 0,093 |
| 100 | 3 | 4,794 | 0,251 |
| 10 | 4 | 2,789 | 0,006 |
| 100 | 4 | 4,794 | 0,009 |
| 100 | 5 | 4,794 | 0,009 |

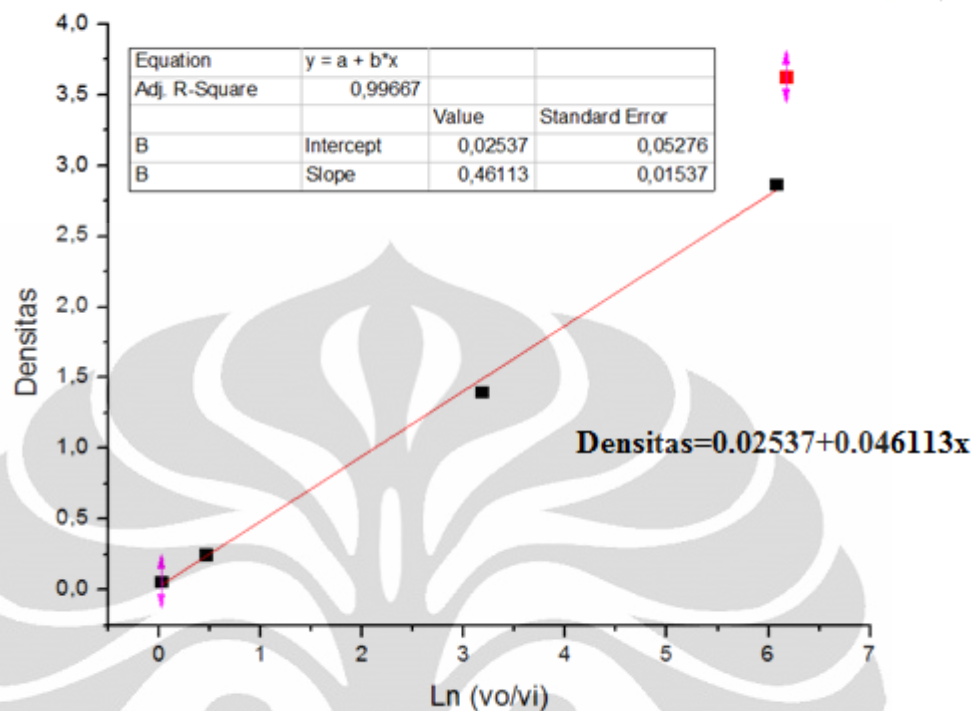
Data pada tabel 4.6 adalah data terbaik dari pengukuran tegangan setiap penguatan. Data hasil pengukuran tegangan film kalibrasi diatas akan diplot kedalam kurva dengan nilai densitas yang disertifikasi.

4.4 Kalibrasi Fungsi Transfer Densitas

Fungsi transfer densitas perlu dikalibrasi untuk memperoleh nilai densitas yang akurat, dan mendekati nilai densitas yang sebenarnya. Fungsi transfer diperoleh dari hasil Plot $\ln(V_o/V_i)$ dengan densitas film kalibrasi. V_o dan V_i dapat dilihat pada subbab 4.3, dihitung nilai V_o/V_i kemudian di Logaritma Natural. Data plot dapat diliat pada tabel 4.7 berikut.

Tabel 4.7 Data plot fungsi transfer densitas

| Strip Ke | $\ln(v_o/v_i)$ | Densitas |
|----------|----------------|----------|
| 1 | 0,015 | 0,06 |
| 2 | 0,450 | 0,25 |
| 3 | 3,172 | 1,4 |
| 4 | 6,159 | 2,87 |
| 5 | 6,204 | 3,63 |



Gambar 4.4 Grafik Plot $\ln(V_o/V_i)$ dengan Densitas

Dari hasil plot data diperoleh grafik dan persamaan linear, persamaan yang diperoleh akan digunakan pada sistem yang dirancang untuk memperoleh densitas. Data hasil pengukuran sistem yang diperoleh dapat dilihat pada tabel 4.8 dibawah.

Tabel 4.8 Data Hasil pengukuran densitas

| Strip Ke | $\ln(v_o/v_i)$ | Densitas kalibrasi(OD) | Densitas hasil pengukuran sistem yang dirancang (OD) | Densitas Pengukuran densitometer(OD) |
|----------|----------------|------------------------|--|--------------------------------------|
| 1 | 0,01589 | 0,06 | 0,032 | 0,03 |
| 2 | 0,4508 | 0,25 | 0,233 | 0,38 |
| 3 | 3,1729 | 1,4 | 1,488 | 1,46 |
| 4 | 6,1593 | 2,87 | 2,865 | 2,94 |
| 5 | 6,2042 | 3,63 | 2,886 | 3,68 |

Pada tabel 4.8 data diatas dapat dilihat kemampuan pembacaan tegangan dan densitas dari sensor hanya mampu strip ke-4. Untuk nilai densitas diatas 2,88, sensor sudah tidak dapat melakukan pengukuran. Pengukuran densitas dengan

densitometer portable juga mempunyai error , dimana nilai pengukuran yang diperoleh tidak sesuai dengan hasil densitas kalibrasi. Film kalibrasi yang disertifikasi memiliki toleransi pengukuran, dapat dilihat pada gambar 4.3. pada strip ke 1 ,2 toleransinya 0(nol) OD, pada strip ke-3 toleransi sebesar 0,3 OD, pada strip ke-4 toleransinya 0,6 OD dan pada strip ke-5 toleransi 0,8. Dengan demikian Instrument yang dirancang masih bisa digunakan untuk mengukur densitas hingga densitas maksimal sebesar 2,88OD. Film kalibrasi tersertifikasi pada tanggal 19/8/2010 oleh Nasional Institute of Standarts and Technology (NIST).



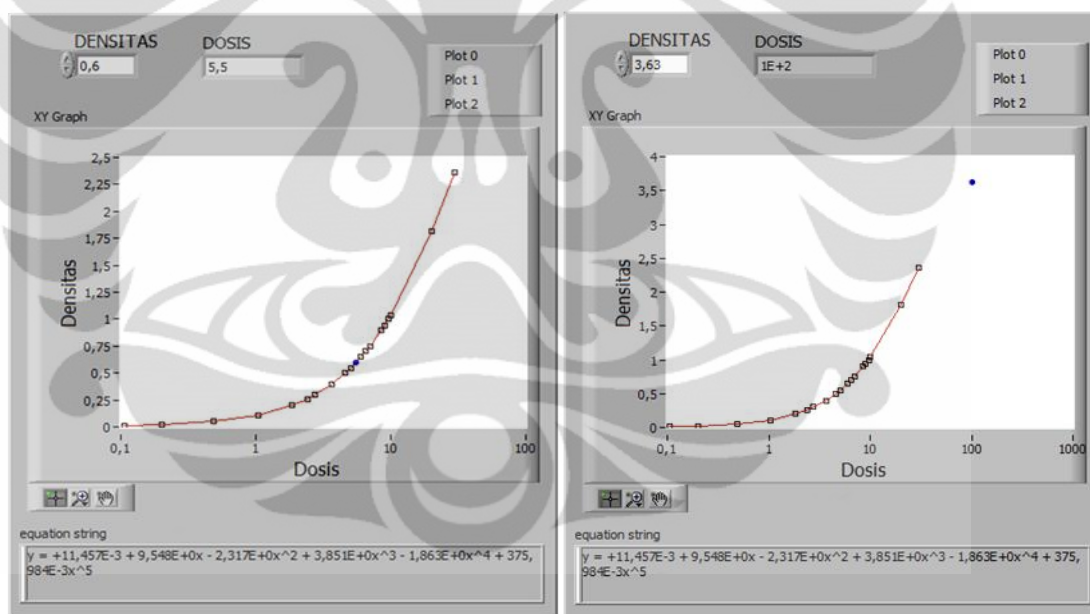
Gambar 4.5 Pengukuran Film Kalibrasi Film dengan densitometer portable

4.5 Perbandingan Nilai dosis Manual dengan Nilai Dosis Digital

Perbandingan nilai dosis dilakukan untuk menguji program digitisasi yang dirancang berhasil dengan baik atau tidak. Hasil pengukuran dosis secara manual dengan program dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.8 Data Hasil pengukuran dosis secara manual dan program

| Strip Ke- | Densitas hasil pengukuran sistem yang dirancang (OD) | Dosis Manual(mRem) | Dosis Digital(mRem) |
|-----------|--|--------------------|-----------------------|
| 1 | 0,06 | 0,48 | 0,48 |
| 2 | 0,25 | 2,3 | 2,3 |
| 3 | 1,4 | 14 | 1,4 |
| 4 | 2,87 | 46 | 4,6 |
| 5 | 3,63 | 78 | $1,00 \cdot 10^{+02}$ |



Gambar 4.6 Pengukuran dosis Film kalibrasi dengan program LabVIEW

Tabel 4.9 Data Hasil pengukuran dosis Hasil pengukuran sistem

| Strip Ke- | Densitas(OD) | Dosis Manual(mRem) | Dosis Digital(mRem) |
|-----------|--------------|--------------------|---------------------|
| 1 | 0,03 | 0,33 | 0,3 |
| 2 | 0,23 | 2,12 | 2,1 |
| 3 | 1,49 | 14,7 | 15 |
| 4 | 2,87 | 46 | 46 |
| 5 | 2,89 | 47 | 47 |

Dari data yang diperoleh proses digitisasi sistem pengukuran dosis berhasil dibuat. Dengan demikian program berfungsi baik dan cukup akurat dalam mengukur dosis radiasi.

Dalam penulisan dosis radiasi, besar radiasi film badge dibukukan oleh BPFK dengan tata cara sebagai berikut:

- 1). Dosis < 20 mRem ditulis 20 mREM
- 2). Dosis 20-24 mRem ditulis 20 mRem
- 3). Dosis 25-34 mRem ditulis 30 mRem
- 4). Dosis 35-44 mRem ditulis 40 mRem,dst

Dari Sistem penulisan dosis, Instrument yang dirancang masih baik untuk digunakan.

4.6 Pengujian Program Penyimpanan Sistem Data Based.

Data hasil pengukuran yang telah diukur sebaiknya disimpan, untuk mempermudah pencatatan dan pembukuan status dari pekerja radiasi. Program data based perlu diuji untuk memastikan data yang disimpan berada pada tempat yang ditentukan. Data yang disimpan pada data based berupa nama, nomor identitas, tegangan v_o dan tegangan v_i , densitas, dosis dan tanggal pengukuran.

| Tanggal | Waktu | Nomor_Identi | Nama | Posisi_Tempat_Kerja | Sumber_Radiasi | Vo | Vi | Densitas | Dosis |
|------------|----------|--------------|---------|---------------------|----------------|------|------|----------|-------|
| 02/03/2011 | 13:31:45 | 021 | Andrew | MRI | Magnet Proton | 3,23 | 0,02 | 2,23 | 21,85 |
| 02/03/2011 | 13:35:25 | 0210 | Lenny | Radioterapi | sinar x | 3,23 | 0,02 | 2,24 | 22,14 |
| 02/03/2011 | 13:32:09 | 022 | Bondan | MRI | Magnet Proton | 3,23 | 0,03 | 2,09 | 19,74 |
| 02/03/2011 | 13:32:32 | 023 | Charles | MRI | Magnet Proton | 3,23 | 0,02 | 2,25 | 22,28 |
| 02/03/2011 | 13:32:59 | 024 | Darwin | Radiologi | sinar x | 3,23 | 0,03 | 2,11 | 20,08 |
| 02/03/2011 | 13:33:28 | 025 | Elena | Radiologi | sinar x | 3,23 | 0,01 | 2,43 | 25,45 |
| 02/03/2011 | 13:33:51 | 026 | Gandi | CT scan | sinar x | 3,23 | 0,02 | 2,24 | 22,06 |
| 02/03/2011 | 13:34:15 | 027 | Henry | CT scan | sinar x | 3,23 | 0,03 | 2,13 | 20,26 |
| 02/03/2011 | 13:34:42 | 028 | Irma | Radioterapi | sinar x | 3,23 | 0,05 | 1,89 | 16,79 |
| 02/03/2011 | 13:35:06 | 029 | Jakki | Radioterapi | sinar x | 3,23 | 0,02 | 2,24 | 22,16 |
| 04/04/2011 | 14:59:13 | 021 | Andrew | MRI | Magnet Proton | 3,81 | 0,01 | 2,56 | 27,42 |
| 04/04/2011 | 13:49:44 | 021 | Andrew | MRI | Magnet Proton | 3,44 | 0,74 | 0,65 | 3,49 |
| 04/07/2010 | 12:35:22 | 021 | Andrew | MRI | Magnet Proton | 4,55 | 0,39 | 1,06 | 6,58 |
| 04/07/2010 | 12:53:24 | 0210 | Lenny | Radioterapi | sinar x | 3,50 | 1,12 | 0,47 | 1,60 |
| 04/07/2010 | 12:37:27 | 022 | Bondan | MRI | Magnet Proton | 4,55 | 0,56 | 0,91 | 5,15 |
| 04/07/2010 | 12:38:52 | 023 | Charles | MRI | Magnet Proton | 4,55 | 1,29 | 0,52 | 1,59 |
| 04/07/2010 | 12:42:06 | 024 | Darwin | Radiologi | sinar x | 3,60 | 0,67 | 0,71 | 3,77 |
| 04/07/2010 | 12:43:08 | 025 | Elena | Radiologi | sinar x | 3,60 | 1,14 | 0,47 | 1,61 |
| 04/07/2010 | 12:44:06 | 026 | Gandi | CT scan | sinar x | 3,60 | 1,07 | 0,50 | 1,88 |
| 04/07/2010 | 12:49:30 | 027 | Henry | CT scan | sinar x | 3,50 | 1,05 | 0,50 | 1,85 |
| 04/07/2010 | 12:51:19 | 028 | Irma | Radioterapi | sinar x | 3,50 | 1,17 | 0,45 | 1,41 |
| 04/07/2010 | 12:52:13 | 029 | jakki | Radioterapi | sinar x | 3,50 | 0,80 | 0,62 | 2,94 |
| 07/04/2010 | 12:57:01 | 021 | Andrew | MRI | Magnet Proton | 3,14 | 0,56 | 0,73 | 3,50 |
| 07/04/2010 | 12:57:36 | 022 | Bondan | MRI | Magnet Proton | 3,14 | 0,35 | 0,94 | 5,46 |
| 07/04/2010 | 13:02:34 | 0210 | Lenny | Radioterapi | Sinar x | 3,14 | 0,35 | 0,95 | 5,48 |
| 07/04/2010 | 12:58:13 | 023 | Charles | MRI | Magnet Proton | 3,14 | 0,54 | 0,75 | 3,64 |
| 07/04/2010 | 12:58:56 | 024 | Darwin | Radiologi | Sinar x | 3,14 | 0,19 | 1,24 | 8,38 |
| 07/04/2010 | 12:59:32 | 025 | Elene | Radiologi | Sinar x | 3,14 | 0,73 | 0,61 | 2,39 |
| 07/04/2010 | 13:00:09 | 026 | Gandi | CT scan | Sinar x | 3,14 | 0,79 | 0,58 | 2,11 |
| 07/04/2010 | 13:00:51 | 027 | Henry | CT scan | Sinar x | 3,14 | 0,36 | 0,94 | 5,45 |
| 07/04/2010 | 13:01:25 | 028 | Irma | Radioterapi | Sinar x | 3,14 | 0,76 | 0,59 | 2,21 |
| 07/04/2010 | 13:02:01 | 029 | jakki | Radioterapi | Sinar x | 3,14 | 0,56 | 0,74 | 3,54 |
| 11/11/2010 | 13:15:33 | 021 | Andrew | MRI | Magnet Proton | 3,32 | 0,12 | 1,46 | 11,17 |
| 11/11/2010 | 13:16:06 | 022 | Bondan | MRI | Magnet Proton | 3,32 | 0,07 | 1,70 | 14,06 |
| 11/11/2010 | 13:16:38 | 023 | Charles | MRI | Magnet Proton | 3,32 | 0,12 | 1,47 | 11,28 |

Gambar 4.7 Data base hasil pengukuran dengan menggunakan Microsoft acces

4.7 Pengujian Program LabVIEW dan GUI(Graphical User Interface)

Pengujian pemrograman dilakukan untuk menentukan berhasil tidaknya sistem yang dirancang, pengujian dilakukan secara bertahap. Pengujian program pengukuran tegangan, pengujian program fungsi transfer densitas, pengujian program fungsi transfer dosis, pengujian program penyimpanan sistem data based. Setelah pengujian dilakukan, maka semua program disatukan menjadi satu program induk, dimana semua proses pengukuran berlangsung pada satu program.

Pengujian program induk dan GUI dilakukan secara bersamaan dengan cara mengukur film badge. Prosedur Pengukuran di tampilkan pada GUI untuk mempermudah user dalam menggunakan program untuk melakukan suatu pengukuran film badge. Gui dirancang dengan tiga tab, tab pertama untuk prosedur, tab kedua untuk pengukuran dan tab ketiga untuk menunjukkan riwayat.

BAB 5

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Setelah melakukan penelitian ini, dapat diambil kesimpulan yaitu :

- Film Badge dengan segala keterbatasannya sampai saat ini masih dipakai dan diakui sebagai salah satu alat ukur radiasi (proteksi radiasi) oleh lembaga regulator (BAPETEN).
- Telah berhasil dirancang suatu sistem yang dapat mengukur densitas film badge, dengan toleransi pengukuran kalibrasi:
 - Strip 1 :0,03
 - Strip 2 : 0,02
 - Strip 3 :0,04
 - Strip 4:0,01
- Pengukuran dosis secara manual dan program sudah menghasilkan nilai sama persis.
- Sistem elektronika untuk memonitoring densitas dan dosis radiasi sudah berhasil dibuat dengan pengembangan:
 - Menampilkan hasil pengukuran dosis dan radiasi
 - Menampilkan grafik riwayat dari hasil pengukuran
 - Sistem penyimpanan dengan menggunakan data based

5.2. Saran

Penelitian lebih lanjut yang dapat dilakukan untuk penelitian ini adalah:

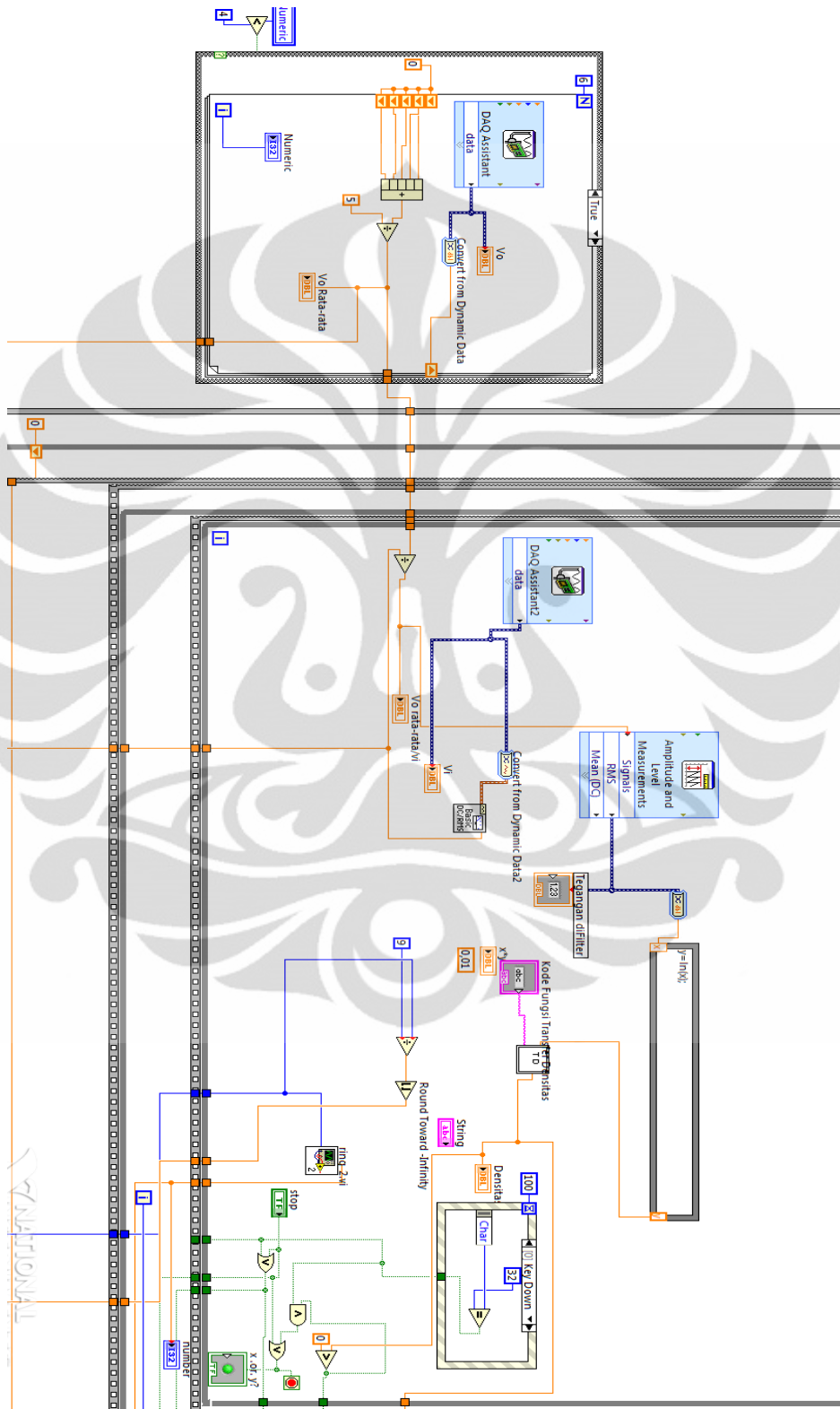
- Memperbaiki sistem pengukuran untuk mendapatkan nilai intensitas yang konstan sehingga tegangan juga konstan ketika melakukan pengukuran
- Sistem database yang lebih spesifik dan bisa akses melalui jaringan internet.

DAFTAR ACUAN

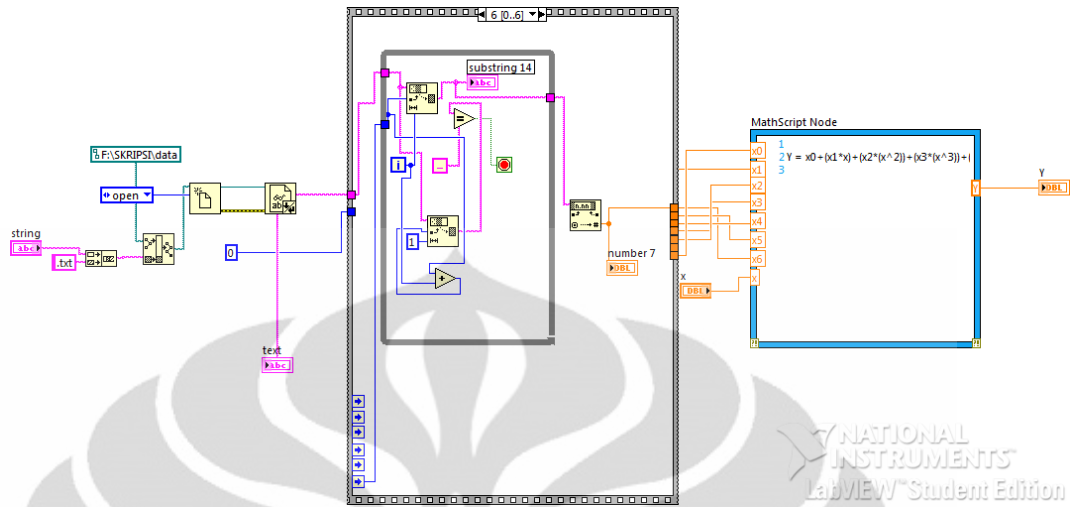
- [1] Posradiografer.2008. Proteksi Radiasi. 30 agustus: 5 hlm.
http://www.posradiografer.com/index.php?option=com_content&view=article&id=56:proteksiradiasi&catid=36:radiofotografi&Itemid=78, 19 april 2011,pk. 16.34
- [2] Depkes R.I, 1987, *Petunjuk Pelaksanaan Upaya Pelayanan Film Badge bagi Pekerja Radiasi Medik*,Jakarta:xii+45 hlm.
- [3] S.Pikatan, "Manusia dan Radiasi,"kristal no.6.1992.
- [4] B.H.Hanna,P.Menik, B.S.Evy.2009.Pengantar Dasar Fisika dan Radiologi Kedokteran Gigi Bagi Mahasiswa Kedokteran Gigi.Program Studi Kedokteran Gigi Universitas Indonesia,Depok:10 hlm.
- [5] Herlina, Nina, 2003, *Pencucian (Proses) Dosimeter Film*, Pelatihan Pengelolaan Layanan Film Badge Proteksi Radiasi, Puslitbang Keselamatan Radiasi dan Biomedika Nuklir BATAN, Surabaya
- [6] Akhadi, Mukhlis, 2004, *Dasar-Dasar Proteksi Radiasi*, Rieneka Cipta, Jakarta.
- [7] Ruslanto,P,Otto, 2003, *Evaluasi Film Pemantauan Dosis Perorangan*, Pelatihan Pengelolaan Layanan Film Badge Proteksi Radiasi, Puslitbang Keselamatan Radiasi dan Biomedika Nuklir BATAN, Surabaya.
- [8] S.Boedi dan P.Mego, Standar Filter untuk Kalibrasi Micro Plate Reade, jurnal standarisasi Vol.9 No.2,2007.
- [9] D.ishandono, T.W. Tjiptono, Z. abidin,Hubungan Perilaku Keselamatan dan Kesehatan Kerja dengan Dosis Radiasi pada Pekerja Reaktor Kartini. Yogyakarta,2008.
- [10] BAPETAN.2000. Proteksi Radiasi, Jakarta:45 hlm.
- [11] Dartini,2007, Pengembangan Implementasi Sistem Manajemen Keselamatan Radiasi dan Pengendalian Bahan kimia Berbahaya di Laboratorium Jurusan Teknik Radiodiagnostik Poltekkes Semarang,Semarang:xii+141 hlm.
- [12] D. Halliday and R. Resnick, *Physics*. Jakarta: Erlangga, 1997

- [13] Warna-Color.2009. Density-densitometer & Status Pengukuran.15 januari:1 hlm. <http://pengantar-warna.blogspot.com/2009/01/densitometer-alat-ukur-kepekatan-optik.html>, 19 april 2011, pk.16.11.
- [14] Blackexperience.com, 2011, Memilih Lampu Utama yang Tepat. 21 januari : 3hlm. <http://www.blackxperience.com/index.php?page=autotips-detail&tid=214>, 5 mei 2011, pk. 10.00
- [15] P.Fichera & R.Scollo,2010,"Electronic Transfor er For 12V Halogen Lamp", Application Note.
- [16] Nugroho Agung, 2008. Film Badge sebagai Alat Ukur Radiasi.Program Studi Fisika Medis Universitas Indonesia, Depok: 14hlm.
- [17] R.Betty, M.S.Melania, P.K.Nungky, 2010, *Prediksi Dosis Paparan Radiasi dengan Menggunakan Metode Klustering pada Dosimeter Film*, Prosiding Seminar Nasional Sains, ITS,Surabaya.
- [18] Anonymous,2010, *light sensor and high sensitivity light sensor*, <http://www.pasco.com>,20 november 2010,pk 12.24
- [19] "User Guide and Specifications NI USB-6009 Series," ed. Texas: National Instruments, 2007.

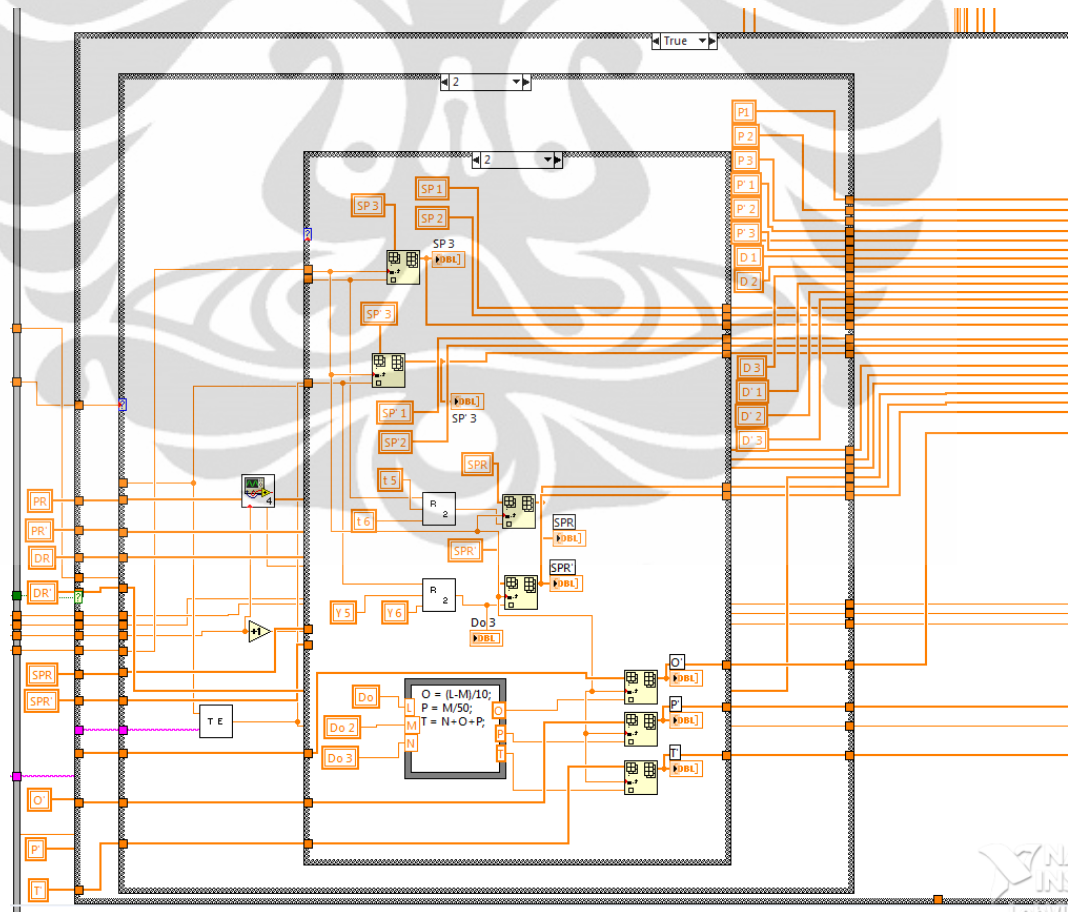
Block diagram Pengukuran Vo, Vi dan Ln Vo/Vi



Block Diagram Fungsi Transfer Densitas



Block diagram Perhitungan Dosis Total



Block Diagram Sistem Pengukuran Densitas dan dosis

