

34291/H/



PERPUSTAKAAN
ITS



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

RSE.

681.2

Abd

PERPUSTAKAAN ITS-1	
Tgl. Terima	2nd 6-9-2008
Terima Dari	H
No. Agenda Prp.	231874

TUGAS AKHIR : RF 1483

RANCANG BANGUN DOSIMETER RADIASI SINAR X DENGAN MENGGUNAKAN DETEKTOR SEMIKONDUKTOR

MUHAMMAD RAMDHAN ABDURROBBIH
NRP 2406 100 501

Dosen Pembimbing
Dr.rer.nat. Ir. Aulia MT Nasution, MSc
Fitri Adi Iskandarianto, ST, MT

JURUSAN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2008



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR : RF 1483

RESEARCH AND DEVELOPMENT FOR X RAY DOSIMETER WITH SEMICONDUCTOR DETECTOR

MUHAMMAD RAMDHAN ABDURROBBIH
NRP 2406 100 501

Counselor

Dr.rer.nat. Ir. Aulia MT Nasution, MSc
Fitri Adi Iskandarianto, ST, MT

DEPARTMENT OF PHYSICS ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh November Institute of Technology
Surabaya 2008

**RANCANG BANGUN DOSIMETER RADIASI SINAR X
DENGAN MENGGUNAKAN DETEKTOR
SEMIKONDUKTOR**

TUGAS AKHIR

Oleh :

Muhammad Ramdhan Abdurrobbih.
NRP. 2406100501

Surabaya, Agustus 2008

Mengetahui/menyetujui
Pembimbing 1



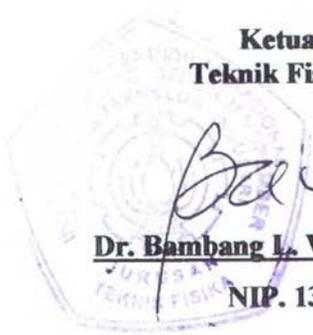
Dr.rer.nat.Ir. Aulia MT Nasution, MSc
NIP. 132 163 667

Mengetahui/menyetujui
Pembimbing 2



Fitri Adi Iskandarianto ST, MT
NIP. 132 318 296

Ketua Jurusan
Teknik Fisika FTI-ITS



Dr. Bambang L. Widjiantoro, ST, MT
NIP. 132 137 895

**RANCANG BANGUN DOSIMETER RADIASI SINAR X
DENGAN MENGGUNAKAN DETEKTOR
SEMIKONDUKTOR**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Instrumentasi
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Muhammad Ramdhan Abdurrobhik
NRP. 2406100501

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr.rer.nat.Ir. Aulia MT Nasution, Msc. (Pembimbing 1)
2. Fitri Adi Iskandarianto, ST, MT(Pembimbing 2)
3. Ir. Moch. Ilyas HS(Penguji 1)
4. Ir.Aulia Siti A. MT(Penguji 2)
5. Katherine I. ST, MT(Penguji 3)

Surabaya
Juli, 2008

RANCANG BANGUN DOSIMETER RADIASI SINAR X DENGAN MENGGUNAKAN DETEKTOR SEMIKONDUKTOR

Nama : Muhammad Ramdhan A.
NRP : 2406100501
Jurusan : Teknik Fisika Fakultas Teknologi Industri- ITS
Pembimbing : Dr. rer. nat. Aulia MT Nasution, MSc
Fitri Adi Iskandarianto, ST, MT

Abstrak

Dosimeter adalah salah satu alat ukur untuk mengukur nilai laju dosis radiasi yang digunakan pada beberapa instansi seperti rumah sakit. Alat ini dipergunakan pada ruang radiologi, dan CT scan, yang berfungsi untuk memberikan nilai keakuratan serta keamanan dalam pembacaan laju dosis penyinaran radiasi pengion seperti sinar x. Dosimeter adalah instrumen yang cukup penting, karena efek radiasi paparan sinar x cukup berbahaya baik bagi pasien maupun operator. Dosimeter ini dirancang berbasis mikrokontroler, yang bertujuan untuk mengkonversi nilai laju dosisnya serta diharapkan mempunyai nilai keakuratan yang optimal. Dosimeter yang dirancang hanya didesain untuk mengukur laju dosis pada radiasi sinar x. Untuk validasi data digunakan dosimeter RADOS 50 sebagai kalibrator. Dari hasil rancang bangun dosimeter sinar x telah berhasil mengukur laju dosis sinar x dengan rentang ukur 0 – 600 $\mu\text{Sv/h}$. Berdasarkan hasil kalibrasi dapat diperoleh laporan dengan tingkat kepercayaan 95% didapat koreksi terendah -0.447 $\mu\text{Sv/h}$ pada setting 3 mAs dan koreksi tertinggi didapat 10.092 pada setting 20 mAs.

Kata kunci : laju dosis, dosimeter, sinar x, mikrokontroler

RESEARCH AND DEVELOPMENT FOR X RAY DOSIMETER WITH SEMICONDUCTOR DETECTOR

Name : Muhammad Ramdhan A.
SRN : 2406100501
Departement : Physics Engineering Faculty of Industry
Technology-ITS
Counselor : Dr. rer. nat. Aulia MT Nasution, MSc
Fitri Adi Iskandarianto, ST, MT

Abstract

A Dosimeter is a measuring instrument for measuring dose rate of radiation that is being used in several instances like hospital. This instrument is usually used in radiological, CT scan and Nuclear Medicine, what its function is to give accurate reading and safety precaution on radiation exposure like x ray dose rate. Because the effect of x ray radiation exposure is quite dangerous for both the patient and the operator. Its structure is composed of a microcontroller which converts dose rate with optimal accuracy. This dosimeter is purposely for measuring x ray dose rate. Using RADOS 50 dosimeter as calibrator for validating of data. Dosimeter x ray that developed successfully detecting x rays dose rate with 0 – 600 $\mu\text{Sv/h}$ range. Based on calibration report, the minimum correction is $-0.447 \mu\text{Sv/h}$ on 3 mAs setting and maximum correction is $10.092 \mu\text{Sv/h}$ on 20 mAs setting.

Key word : dose rate, dosimeter, x ray, microcontroller

KATA PENGANTAR

Segala Puji Syukur kehadirat Allah SWT atas segala karunia, rahmat dan nikmat-Nya sehingga penulis kami dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“Rancang Bangun Dosimeter Radiasi Sinar X Menggunakan Detektor Semikonduktor”** ini.

Dengan hati tulus dan ikhlas, penulis ingin menyampaikan banyak terima kasih kepada :

1. Ayah dan ibuku tercinta, serta saudara-saudaraku yang ada di Bandung.
2. Bapak Dr. Bambang. L Widjiantoro, ST,MT selaku kepala jurusan Teknik Fisika FTI, ITS
3. Bapak Dr.rer.nat. Ir. Aulia MT Nasution, MSc selaku dosen pembimbing 1 tugas akhir, terima kasih atas bimbingan dan arahnya.
4. Bapak Fitri Adi Iskandarianto ST, MT selaku dosen pembimbing 2 tugas akhir, terima kasih atas bimbingan dan arahnya.
5. Bapak Ir.Zulkifli, M.Sc, Selaku dosen wali penulis.
6. Bapak Sukendar Adam, DIM, M.Kes selaku Kepala BPFK Surabaya.
7. Bapak Ir.Ali Musyafa, Msc selaku Kapala Laboratorium Instrumentasi Jurusan Teknik Fisika FTI-ITS Surabaya
8. Pak Wahyudi, Bu Betty, Bu Rikian serta seluruh karyawan BPFK Surabaya, yang tidak mungkin penulis sebutkan satu persatu, terkhusus Pak Tri Dedi (Thanks for all).
9. Teman teman LJ ' 06 yang telah banyak membantu selama di perkuliahan dan tugas akhir ini.
10. Adik-adik kelas LJ yang telah banyak membantu di perkuliahan dan tugas akhir ini.
11. Bang Yop, Bang Pai, Pipin, Angga dan teman-teman di kost yang selalu siap membantu kapanpun, Thanks.
12. Teman-temanku di Bandung yang selalu memberikan dukungannya (I miss you all).

Kami selaku penulis menyadari bahwa didalam tugas akhir ini masih jauh dari sempurna, untuk itu saran dan kritik yang membangun sangat diharapkan demi tercapainya kesempurnaan Tugas akhir ini. Harapan kami semoga laporan ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua.

Surabaya, Agustus 2008

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	ix

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan	1
1.3 Batasan permasalahan.....	2
1.4 Tujuan Tugas Akhir	2
1.5 Metodologi perancangan	3
1.6 Sistematika laporan	3

BAB III DASAR TEORI

2.1 Sinar x	5
2.2 Karakteristik Sinar X	7
2.3 Aktivasi Radiasi dan Satuannya	8
2.4 Interaksi Sinar x dengan Materi	10
2.5 Dosimetri	11
2.6 Dosis yang Diserap	12
2.7 Skintilator	14
2.8 Photovoltaic (Solar Cell)	16
2.9 Analog Signal Conditioning	17
2.10 ADC (Analog to Digital Converter)	18
2.11 Mikrokontroler	19
2.12 Pengukuran dan Kalibrasi	23

BAB III PERANCANGAN ALAT	
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	45
3.2 Peralatan Eksperimen	45
3.3 Instrumen Pengukuran Karakteristik Desain Sensor Radiasi Sinar X	45
3.4 Prosedur Eksperimen dan Perancangan	50
3.5 Metodologi Perancangan	57
3.6 Data	57
BAB IV PENGUKURAN DAN ANALISA DATA	
4.1 Dosimeter RADOS 50	61
4.2 Pengujian tanggapan sensor laju dosis radiasi sinar x	63
4.3 Evaluasi Ketidakpastian Kalibrasi Dosimeter sinar x	65
4.4 Karakteristik Dosimeter	70
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	73
5.2 Saran	73
DAFTAR PUSTAKA	75
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Sinar x yang dihasilkan dari percepatan elektron elektron dengan tegangan tinggi sehingga dapat menumbuk sebuah target	6
Gambar 2.2	Transisi energi dalam proses terjadinya sinar x	7
Gambar 2.3	Blok diagram sistem pengukuran radiasi sinar x	12
Gambar 2.4	Prinsip Kerja Solar Sel	17
Gambar 2.5	Penguat Pembalik	17
Gambar 2.6	Blok Diagram ADC 0804	18
Gambar 2.7	Konfigurasi kaki IC mikrokontroler 89S51 PDIP 40 pin	20
Gambar 2.8	Kesalahan acak dan kesalahan sistematis	28
Gambar 2.9	Histogram hasil pengukuran dan kurva Gaussian	29
Gambar 2.10	Bagan ketidakpastian	32
Gambar 2.11	Hubungan antara x dan y searah (positif) linier	33
Gambar 2.12	Hubungan antar x dan y berlawanan arah (negatif) linier	34
Gambar 2.13	Distribusi Persegi Panjang	37
Gambar 2.14	Kurva distribusi Gauss dengan 3 simpangan baku dan rata-rata	38
Gambar 2.15	Distribusi Normal (Gaussian Distribution)	39
Gambar 2.16	Distribusi Normal dan kurva Gaussian	40
Gambar 3.1	x ray mobile unit Trophy tipe OMNIX 60	46
Gambar 3.2	Dosimeter RADOS 50	47
Gambar 3.3	Skintilator sinar x yang digunakan pada sensor	48
Gambar 3.4	Desain <i>photo x-ray luminescence sensor</i>	49
Gambar 3.5	Bentuk fisik detektor yang digunakan	49
Gambar 3.6	Struktur umum sistem pengukuran	50
Gambar 3.7	Rangkaian Pengkondisian Sinyal	51

Gambar 3.8	Rangkaian Mikrokontroler	52
Gambar 3.9	Compile file asm ke obj	54
Gambar 3.10	Compile file obj ke hex	54
Gambar 3.11	Proses sebelum pengisian	55
Gambar 3.12	Proses pengisian	55
Gambar 3.13	Flow chart implementasi software	56
Gambar 3.14	Metodologi Penelitian	59
Gambar 4.1	Grafik distribusi RADOS 50 terhadap setting..	62
Gambar 4.2	Grafik tanggapan tegangan sensor terhadap kenaikan laju dosis	64
Gambar 4.3	Dosimeter sinar x	70

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	<i>Bahan-bahan Skintilasi</i>	15
Tabel 2.2.	Fungsi khusus port 3	21
Tabel 2.3	Nilai register setelah di-reset	22
Tabel 2.4	Tabel perbandingan faktor cakupan (<i>k</i>) Terhadap kepercayaan <i>P</i> (%).....	42
Tabel 2.5	Hubungan antara " <i>k</i> " dan " <i>P</i> " dengan derajat kebebasan $\nu = \sim$	43
Tabel 3.1	Spesifikasi Fluke 88 Digital Multimeter	51
Tabel 3.2	Spesifikasi screen sinar x	48
Tabel 4.1	Distribusi RADOS 50 terhadap setting	62
Tabel 4.2	Distribusi tegangan sensor terhadap doserate....	64
Tabel 4.3	Laporan kalibrasi	69
Tabel 4.4	Sensitifitas SENSOR dosimeter	61
Tabel 4.5	Kesalahan relatif	72

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Radiasi sinar x merupakan salah satu bentuk pancaran energi gelombang elektromagnetik yang sangat bermanfaat dalam bidang kedokteran baik untuk tujuan diagnosa medis maupun terapi. Namun bila terjadi kesalahan *setting* tegangan pada sistem operasi sinar x dalam terapi maupun untuk tujuan diagnosa dapat membahayakan sistem jaringan. Di samping faktor *human errors*, kesalahan dapat terjadi karena performansi sinar x yang dipakai sudah mulai menurun atau tidak layak pakai. Oleh karena itu, sebelum pengoperasian sinar x perlu dilakukan pengecekan terhadap instalasi sinar x yang akan dioperasikan.

Untuk mendukung dan mendapatkan informasi yang tepat mengenai performansi sinar x yang akan digunakan perlu dilakukan monitoring dengan instrumen dengan tingkat keakuratan dan kepresisian yang tinggi karena kesalahan dalam masalah ini diimbangi dengan dampak negatif yang tinggi pula baik bagi pasien maupun bagi operator.

Verifikasi *exposure* radiasi sinar x yang salah satunya dapat direpresentasikan melalui paparan langsung terhadap suatu instrumen ukur yang bernama dosimeter. Teknik pengukuran seperti ini disebut dengan teknik *noninvasive* yaitu metode pengukuran tanpa menyentuh bagian alat yang diukur.

1.2 Permasalahan

Dalam desain penelitian dan perancangan peralatan diperlukan identifikasi permasalahan sebagai acuan (reference) untuk langkah prediktif dalam menentukan dan mengarahkan konsep-konsep yang mendasari penelitian dan perancangan yang akan dilakukan, yaitu :

1. Bagaimana menggunakan detektor semikonduktor sebagai detektor radiasi sinar x .

2. Bagaimana memilih detektor yang paling simpel dan murah untuk digunakan sebagai detektor radiasi sinar x .
3. Bagaimana menerapkan metode scintillator untuk digabungkan dengan photodetektor sebagai detektor radiasi sinar x .
4. Bagaimana memperoleh validasi data untuk menunjukkan bahwa instrumen dosimeter yang telah dirancang layak untuk digunakan.

1.3 Batasan Permasalahan

Banyaknya parameter dan faktor kendala dalam perancangan perlu dieliminir dengan melakukan pendekatan dengan toleransi yang masih berada dalam range yang wajar (excuted errors) di samping untuk tujuan mengurangi medan penelitian (research field) yang cenderung kompleks, yaitu :

1. Instrumen yang dibuat hanya untuk menghitung laju dosis radiasi sinar x .
2. Kalibrasi menggunakan dosimeter RADOS 50 dengan x ray mobile unit merk Thropy OMNIX 60 sebagai sumber sinar x .
3. Metode validitas data menggunakan metode kalibrasi dengan mengacu pada IAEA safety report no. 16 tahun 2000.
4. *Data presentation unit* dengan visualisator LCD yang digunakan untuk menampilkan laju dosis.
5. Asumsi bahwa karakteristik bahan sensor sumber radiasi sinar x dan photodetektor pada range 0 – 533 $\mu\text{Sv/h}$ mempunyai grafik yang linier.
6. Asumsi suhu lingkungan selama pengambilan data stabil sebesar $23 \pm 1^\circ\text{C}$.

1.4 Tujuan Tugas Akhir

Tujuan dari tugas akhir ini adalah untuk :

- Merancang dosimeter radiasi sinar x yang mampu memonitor nilai laju dosis sinar x melalui radiasi sinar x yang dipancarkan oleh tabung sinar x dari X-Ray Mobile Unit.

- Merancang sistem instrumen pengukuran yang dapat digunakan untuk pengukuran laju dosis yang dipancarkan suatu sumber sinar x .
- Merancang alat pengukur laju dosis radiasi sinar x untuk tujuan mengukur dan monitoring laju dosis radiasi sinar x secara *noninvasive*.

1.5 Metodologi Perancangan

Tugas akhir ini diangkat berdasarkan resitasi (studi kasus) di bidang instrumentasi kedokteran praktis. Dalam proses perancangan dan penyusunan dari hasil-hasil eksperimen dan berbagai masukan data-data selama proses berlangsung menggunakan metodologi perancangan sebagai berikut :

- Pengumpulan data-data empiris yang relevan melalui studi literatur mengenai prinsip kerja sinar x dan hal-hal yang terkait dengan *electronic signal processing*
- Perumusan masalah
- Penyusunan atau klasifikasi data-data
- Perumusan hipotesis
- Deduksi dari hipotesis
- Verifikasi hipotesis dengan metode eksperimental
- Perancangan Sensor dan alat ukur dosimeter sinar x .
- Pengambilan data-data hasil pengukuran
- Analisa komparatif dari data-data eksperimental
- Penyusunan laporan tugas akhir

1.6 Sistematika Laporan

Laporan tugas akhir ini disusun dengan sistematika laporan sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Dalam pendahuluan ini terdiri dari latar belakang, identifikasi masalah, batasan permasalahan, tujuan perancangan, metodologi perancangan.

BAB II DASAR TEORI

Dasar-dasar teori yang berkaitan langsung atau relevan dengan permasalahan dan pembahasan dalam tugas akhir ini, yaitu yang berkenaan dengan ilustrasi singkat mengenai prinsip kerja sinar x dan sistem *electronic signal processing*.

BAB III PERALATAN DAN METODOLOGI PERANCANGAN

Bagian ini berisi tentang instrumen-instrumen yang digunakan dalam eksperimen dan metodologi perancangan.

BAB IV PENGOLAHAN DAN ANALISA DATA

Bagian ini berisi tentang analisa data-data dari hasil eksperimen yang mengacu pada metodologi perancangan dan pemrosesan data-data yang mengarah pada solusi yang ditargetkan dalam tujuan perancangan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Sebagai akhir dari laporan tugas akhir ini disajikan beberapa kesimpulan dan saran yang diambil secara induktif dan deduktif dari data-data yang diperoleh secara empiris di laboratorium. Hasil analisa secara teoritis dan pengetahuan empiris yang diperoleh selama proses perancangan dapat dijadikan sebagai rekomendasi untuk perancangan selanjutnya.

BAB II DASAR TEORI

2.1. Sinar x.

Sinar x adalah salah satu dari radiasi ionisasi selain sinar gamma. Sinar x dapat dibangkitkan melalui dua elektroda dalam suatu tabung dengan elektron-elektron yang bergerak dipercepat dengan level beda potensial 10^3 hingga 10^6 Volt dilepaskan membentur suatu sasaran logam. Pada permulaannya, proses terjadinya sinar x ini diamati oleh Wilhelm K. Rontgen (1895 – 1923) dan dari sinilah asal mula nama sinar Rontgen. Sinar x sifatnya sama seperti cahaya, mereka diatur oleh hubungan kuantum dalam interaksinya dengan zat. Sehingga dari sini dapat dibicarakan mengenai foton atau kuantum, energi foton ditentukan oleh hubungan $E = hf$. Panjang gelombang sinar x membentang dari kira-kira 0,001 sampai 1 nm (10^{-12} sampai 10^{-9} m).

Tabung sinar x yang umum adalah jenis Coolidge, yang direkayasa oleh W.D. Coolidge dari laboratorium General Electric pada tahun 1913. Sebuah katoda termionik dan sebuah anoda dimasukkan ke dalam tabung kaca yang udaranya telah dipompa keluar dari dalamnya sehingga mencapai tekanan yang sangat rendah sekali.

Secara sederhana dapat diterangkan bahwa sinar x dihasilkan oleh tabung gelas hampa udara yang dilengkapi dengan dua buah elektroda, yaitu anoda atau target dan katoda. Sebagai interaksi antara elektron cepat yang dipancarkan dari katoda ke target yang menyebabkan dipancarkannya sinar x dari permukaan target.

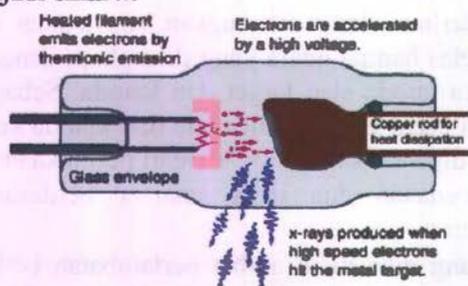
Dapat dibedakan dua jenis sinar x berdasarkan proses terjadinya, yaitu :

- Radiasi yang dihasilkan akibat perlambatan berkas elektron cepat yang mengenai target disebut bremstrahlung dan menghasilkan spektrum kontinyu.

- Radiasi yang dihasilkan akibat tumbukan berkas elektron cepat dengan elektron orbit dari atom target, dikenal dengan sinar x karakteristik yang memiliki spektrum garis.

Berkenaan dengan hal itu maka fungsi dari arus listrik yang dialirkan pada filamen yang pada gilirannya mengatur panasnya permukaan filamen akan menentukan banyaknya produksi elektron yang keluar dari filamen. Yang menentukan banyaknya produksi elektron yang keluar dari filamen. Yang berarti mengatur intensitas sinar x yang dihasilkan. Adapun tegangan target akan mengatur besarnya energi elektron cepat yang mengenai target, yang berarti menentukan besarnya energi sinar x yang dihasilkan disamping intensitas sinar x .

Katoda termionik digunakan sebagai sumber penghasil elektron, sedangkan anoda digunakan untuk menghentikan laju lintasan elektron. Laju lintasan elektron tersebut mempunyai kecepatan yang tergantung pada tegangan tinggi yang diterapkan pada katoda dan anoda. Dengan tegangan tinggi yang diberikan pada katoda dan anoda, maka elektron-elektron pada katoda akan ditarik ke anoda, di mana elektron akan menuju ke potensial positif. Akhirnya elektron tersebut akan melaju dengan kecepatan yang cukup tinggi dan membentur target anoda, hasil benturan elektron tersebut akan menghasilkan energi kinetik elektron dan berubah menjadi sinar x .



Gambar 2.1 Sinar x yang dihasilkan dari percepatan elektron dengan tegangan tinggi sehingga dapat menumbuk sebuah target logam (Sumber :

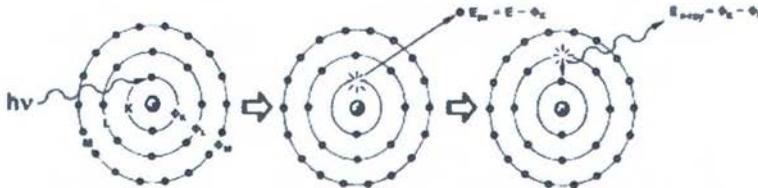
<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/ems3.html>)

Energi foton pada persamaan sebelumnya pada emisi sinar x ini akan sama dengan energi kinetik elektron, hal ini sesuai dengan efek fotolistrik, di mana energi sebuah foton dipindahkan menjadi energi kinetik sebuah elektron dan energi kinetik sebuah elektron dipindahkan menjadi tenaga sebuah foton, sehingga persamaan tersebut menjadi : $hf = \frac{1}{2} mv^2$. Misalkan emisi sinar x yang dipancarkan harus berada pada panjang gelombang pendek 0,1 nm, maka besar frekuensinya adalah :

$$f = c/\lambda = 3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}/10^{-10} \text{ m} = 3 \times 10^{18} \text{ Hz} \quad \dots(2.1)$$

Sedangkan energi foton yang dihasilkan adalah :

$$hf = (6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s}) (3 \times 10^{18} \text{ s}^{-1}) = 19,9 \times 10^{-16} \text{ J} \quad \dots(2.2)$$



Gambar 2.2 Transisi energi dalam proses terjadinya sinar x
(Sumber : <http://www.msc.com/semi/index.jsp>)

Ini harus sama dengan energi kinetik elektron $\frac{1}{2} mv^2$ yang juga sama dengan hasil kali muatan elektron dan tegangan yang mempercepatnya, V di mana $\frac{1}{2} mv^2 = eV = 19,9 \times 10^{-16} \text{ J}$. Karena $e = 1,16 \times 10^{-19} \text{ C}$, maka :

$$V = 19,9 \times 10^{-16} \text{ J} / 1,16 \times 10^{-19} \text{ C} = 12400 \text{ Volt} \quad \dots(2.3)$$

2.2 Karakteristik Sinar X

Karakteristik sinar x perlu untuk diketahui karena sifat-sifat sinar x banyak dimanfaatkan untuk tujuan-tujuan tertentu khususnya dalam bidang kedokteran tetapi juga dapat membawa dampak negatif yang perlu untuk diwaspadai.

Karakteristik sinar x antara lain sebagai berikut :

- **Penetrating effects** yaitu sinar x mampu menembus obyek yang dilaluinya, dimana daya tembus tersebut tergantung pada kepadatan dari obyek benda. Daya tembus sinar x akan berlainan seakan-akan sinar x diabsorpsi oleh obyek benda tersebut.
- **Photography effects** yaitu sinar x dapat menghitamkan film, sehingga dengan sifat ini, sinar x dapat digunakan untuk merekam obyek yang disinari. Dengan demikian nilai kehitaman dari film tersebut akan bergantung pada kuantitas dan kualitas sinar x tersebut. Semakin tinggi jumlah sinar x maka film akan semakin hitam dan sebaliknya.
- **Fluorocent effects** yaitu sinar x mampu mengubah menjadi cahaya tampak jika sinar x tersebut dikenakan pada bahan *fluorocent* (kristal logam calcium, seng sulfida, barium, platina cyanida, dan lain-lain).
- **Biological effects** yaitu efek terhadap sel-sel tubuh yang terkena sinar x , dengan efek ini sel tubuh bisa mati atau menjadi tidak normal.
- **Ionisation effects** yaitu sinar x mampu membuat gas dan udara menjadi penghantar listrik atau ionisasi jika terkena sinar x .

Sifat-sifat sinar x di atas adalah sebagai dasar teoritis untuk mempelajari cara kerja proses pengukur radiasi dari sinar x yang dihasilkan dari sistem pembangkit sinar x .

2.3. Aktivasi Radiasi dan Satuannya

Yang dimaksud dengan aktivasi radiasi adalah besaran yang menyatakan jumlah peluruhan yang terjadi per detik. Secara simbolik biasa dinyatakan dengan A .

Sehingga secara matematik dapat dituliskan:

$$A(t) = \left| \frac{dN}{dt} \right|$$

$$A(t) = \left| \frac{dN_0 e^{-\lambda t}}{dt} \right| \quad \dots(2.4)$$

$$= N_0 e^{-\lambda t}$$

Dimana $A(t)$ adalah aktivitas radiasi pada saat t analog dengan itu, maka A_0 yaitu aktivitas radiasi pada saat $t = 0$ dapat ditulis sebagai :

$$A_0 = \lambda N_0 \quad \dots(2.5)$$

Oleh karena $N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$ dan $A(t) = A_0 e^{-\lambda t}$, maka diperoleh hubungan :

$$A(t) = A_0 e^{-\lambda t} \quad \dots(2.6)$$

Persamaan ini menyatakan bahwa aktivitas radiasi berkurang secara eksponensial dengan waktu.

Perlu diketahui seutu besaran yang disebut waktu pao, yaitu interval waktu yang dibutuhkan sedemikian rupa sehingga aktivitas radiasi berkurang dengan separonya. Waktu paro secara simbolik biasa dituliskan dengan $T_{1/2}$.

Sejak tahun 1976 dalam sistem Satuan Internasional (SI), aktivitas radiasi dinyatakan dengan Becquerel (Bq) yang didefinisikan sebagai:

$$1\text{Bq} = 1 \text{ peluruhan per detik}$$

Sebelumnya digunakan satuan Curie (Ci) untuk menyatakan aktivitas radiasi yang didefinisikan sebagai:

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ peluruhan per detik}$$

Mengingat bahwa satuan Becquerel adalah relatif baru, sedang satuan Curi sudah digunakan cukup lama, dalam kenyataannya sekarang kedua satuan tersebut, pada masa peralihan masih digunakan. Hubungan antara kedua satuan tersebut adalah :

$$1\text{Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

Satuan Curie menyatakan jumlah peluruhan per satuan waktu. Jumlah peluruhan dapat berbeda dengan jumlah radiasi yang dipancarkan.

2.4. Interaksi Sinar x dengan Materi

Kehilangan energi dari sinar x pada saat melewati suatu materi (zat) terjadi karena tiga proses utama, yaitu :

- Efek fotolistrik
- Efek Compton
- Efek produksi pasangan

Efek fotolistrik dan efek Compton timbul karena interaksi antara sinar x dengan elektron-elektron dalam atom dari materi (zat) itu, sedangkan efek produksi pasangan timbul karena interaksi dengan medan listrik inti atom.

Apabila I_0 adalah intensitas sinar x yang datang pada suatu permukaan materi (zat) dan I_x adalah intensitas sinar x yang berhasil menembus lapisan setebal x materi tersebut maka akan terjadi pengurangan intensitas. Hubungan antara I_0 dan I_x adalah sebagai berikut :

$$I_x = I_0 e^{-\mu x} \quad \dots(2.7)$$

μ disebut koefisien absorpsi linier.

Oelh karena μ tidak memiliki satuan, maka jika x dinyatakan dalam cm haruslah μ dinyatakan dama $1/\text{cm}$ (cm^{-1}). Seringkali lebih disukai untuk menggantikan x dengan (ρx) dan dinyatakan dalam gram/cm^2 yaitu yang menyatakan massa dari lapisan tebal x dengan penampang 1 cm^2 . Sedangkan μ digantikan dengan menjadi (μ/ρ) dan dinyatakan dalam cm^2/gram dan disebut koefisien absorpsi massa.

Rumus diatas banyak digunakan dalam perhitungan perencanaan pelindung radiasi. Apabila tebal x dipilih sedemikian rupa sehingga $I_x = I_0/2$, maka $x = X_{1/2}$ dan disebut tebal lapisan separo harga atau half value layer (HVL).

Hal ini berarti juga apabila $x = 2 X_{1/2}$ dan disebut tebal lapisan separo harga atau half value layer (HVL).

Hal ini berarti juga apabila $x = 2 X_{1/2}$ maka :

$$I_x = \frac{1}{2} \left(\frac{I_o}{2} \right) = \frac{I_o}{4} \quad \dots(2.8)$$

Apabila $x = 3 X_{1/2}$ maka $I_o = I_x/8$ dan seterusnya.

Mengingat penyerapan energi sinar x ditentukan oleh tiga proses utama, yakni fotolistrik, efek Compton dan efek produksi pasangan, maka koefisien linier μ juga ditentukan oleh ketiga proses tersebut, sehingga dituliskan :

$$\mu_t = \mu_n + \mu_c + \mu_{pp} \quad \dots(2.9)$$

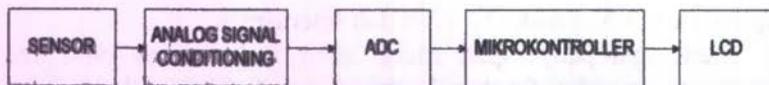
μ_t adalah koefisien absorpsi total, sedangkan μ_n , μ_c dan μ_{pp} masing-masing adalah koefisien absorpsi yang disebabkan oleh efek fotolistrik, efek Compton dan efek produksi pasangan.

2.5. Dosimetri

Dosimetri radiasi dapat diartikan sebagai ilmu yang mempelajari berbagai besaran dan satuan dosis radiasi, sedang pengertian dosis adalah kuantisasi dari proses yang ditinjau sebagai akibat radiasi mengenai materi. Sebagaimana telah dijelaskan, berbagai faktor yang perlu diperhatikan dalam hal ini antara lain adalah jenis radiasi dan bahan yang dikenainya. Apabila yang terkena radiasi adalah benda hidup, maka perlu juga diperhatikan tingkat kepekaan masing-masing jaringan tubuh terhadap radiasi. Demikian pula apabila zat radioaktif sebagai sumber radiasi masuk ke dalam tubuh, maka pola distribusi dan proses metabolisme yang terjadi didalam tubuh perlu diperhatikan.

Alat pengukur dosis radiasi yang dipancarkan oleh pembangkit sinar x tanpa menyentuh bagian trafo pembangkit tegangan tinggi harus mempunyai keakurasian dan keandalannya yang tinggi. Proses pengukuran radiasi menggunakan bahan yang peka terhadap radiasi, sehingga bila bahan tersebut dikenai radiasi akan memberikan respon yang dapat diamati. Alat yang terbuat dari bahan khusus ini disebut sensor. Jadi pada sensor energi radiasi diubah menjadi energi lain yang dapat diamati ataupun diukur.

Prinsip kerja alat pengukur radiasi yang dipancarkan oleh pembangkit sinar x dapat dilihat dari blok diagram berikut ini :



Gambar 2.3 Blok diagram sistem pengukuran radiasi sinar x

2.6. Dosis yang Diserap

Kerusakan radiasi tergantung pada penyerapan energi dari radiasi, dan kira-kira sebanding dengan konsentrasi energi yang diserap dalam jaringan. Untuk alasan ini, satuan dasar dosis radiasi dinyatakan dengan berkenaan dengan energi yang diserap per satuan massa dalam jaringan. Satuan ini disebut gray (gy) dan didefinisikan sebagai:

Satu gray adalah dosis radiasi yang diserap dalam satu joule per kilogram.

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$$

Gray secara universal dapat diterapkan pada semua tipe dosimetri radiasi yang berionisasi ← penyinaran sehubungan dengan medan luar (eksternal) dari sinar gamma, neutron, atau partikel-partikel bermuatan, dan juga berkenaan dengan radioisotop yang diendapkan secara internal (di dalam).

Sebelum penggunaan universal dari satuan satuan SI, dosis radiasi diukur dengan suatu satuan yang disebut rad (Radiation Absorbed Dose Dosis Radiasi yang Diserap).

Satu rad adalah dosis radiasi yang diserap dalam 100 erg per gram.

$$1 \text{ rad} = 100 \text{ erg/g}$$

Karena $1 \text{ J} = 10^7 \text{ erg}$, dan karena $1 \text{ kg} = 1000 \text{ g}$,

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

Sievert, Sv, merupakan suatu satuan kesetaraan dosis radiasi, H, yang dipergunakan untuk maksud-maksud proteksi radiasi,

untuk kriteria desain dalam perokayasa dan untuk maksud-maksud administratif dan resmi. Kesetaraan dosis, yang dinyatakan dalam sievert, mempertimbangkan QF dari radiasi, dan juga dosis yang terserap, dan beberapa faktor lain, seperti misalnya distribusi DF yang tak merata, yang hanya berlaku bagi "bone seeker" dan yang mempengaruhi efek biologis dari suatu dosis serapan tertentu. Kesetaraan dosis didefinisikan sebagai:

$$H, \text{ sievert} = D, \text{ gray} \times QF \times DF \quad \dots(2.10)$$

Menurut persamaan diatas, suatu dosis sinar beta atau sinar-X sebesar 1 mGy yang terserap bersesuaian dengan kesetaraan dosis sebesar 20 mSv. Gray hanya didasarkan pada faktor-faktor fisis, sedangkan sievert mempertimbangkan faktor fisis dan biologis. Batas-batas dosis, yakni dosis radiasi maksimum yang diperbolehkan, dinyatakan dalam satuan sievert dan millisievert.

Dalam sistem-sistem satuan cgs, dimana dosis dinyatakan dalam rd, mak saruan kesetaraan dosisnya adalah rem, yang didefinisikan sebagai:

$$H, \text{ rem} = D, \text{ rad} \times QF \times DF \quad \dots(2.11)$$

Komitmen kesetaraan dosis sesungguhnya merupakan komitmen dosis dari suatu penyinaran atau praktek tertentu yang telah diubah menjadi sievert dengan menggunakan persamaan dosis sievert dan diubah menjadi rad dengan menggunakan persamaan dosis rem.

Untuk maksud-maksud pembuatan standar, kita mempergunakan kesetaraan dosis komitmen, H_{50} , yang didefinisikan sebagai kesetaraan dosis yang berakumulasi selama 50 tahun setelah pemasukan radioisotop.

$$H_{50} = \int_0^{50} H(t) dt \quad \dots(2.12)$$

Maka :

$$1 R = 0.87 \text{ rad}$$

$$1 \text{ rad} = 0.01 \text{ Gy}$$

$$1 \text{ rad} = 1 \text{ rem}$$

$$1 \text{ rem} = 0.01 \text{ Sv}$$

2.7. Skintilator

Suatu detektor skintilasi merupakan suatu "tranduser" yang mengubah energi kinetik dari suatu partikel penimbul ionisasi menjadi suatu kilatan cahaya. Secara historis, salah satu cara paling awal yang dipergunakan untuk mengukur radiasi adalah dengan menggunakan hitungan skintilasi. Rutherford, dalam eksperimen-eksperimen klasiknya sehubungan dengan penghamburan partikel-partikel alfa, mempergunakan kristal seng sulfida sebagai detektor primer dari radiasi; ia mempergunakan matanya untuk melihat kedipan-kedipan cahaya yang muncul pada saat partikel-partikel alfa membentuk seng sulfida. dewasa ini, cahaya tersebut dilihat secara elektronis dengan tabung-tabung fotomultiplier yang pulsa-pulsa keluarannya dapat diperkuat, disortir (dipilah-pilah) menurut ukuran, dan dihitung. Berbagai radiasi dapat dideteksi dengan penghitung-penghitung skintilasi dengan menggunakan bahan skintilasi yang sesuai. Tabel 2.1. mencantumkan beberapa substansi yang dipergunakan untuk maksud ini.

Penghitung-penghitung skintilasi secara meluas dipergunakan untuk menghitung sinar-sinar x , gamma serta sinar-sinar beta berenergi rendah. Efisiensi hitung dari penghitung-penghitung Geiger atau proporsional bagi sinar beta berenergi rendah mmungkin sangat rendah karena adanya pelepasan energi energi beta dalam sampel. (Fenomena ini disebut sebagai absorpsi-diri). Kelemahan ini dapat diatasi dengan menguraikan sampel radioaktif dalam suatu cairan pemantul (skintilasi), seperti misalnya toluene. Penghitung-penghitung skintilasi cair semacam itu menghasilkan efisiensi pendeteksian yang mendekati 100%.

Penghitung-penghitung tersebut secara meluas dipergunakan dalam aplikasi-aplikasi riset, khususnya dalam bidang biokimiawi, dimana penghitung-penghitung skintilasi cair hanya relatif sedikit ditemui dalam aplikasi-aplikasi fisika kesehatan operasional.

Untuk pengukuran sinar x dan gamma, detektor yang paling sering dipergunakan adalah kristal sodium yodida yang diaktifkan dengan thalium [NaI(Tl)], yang secara optis dipasangkan dengan tabung fotomultiplier. Aktivator Thalium, yang muncul sebagai "impuritas" dalam struktur kristal hingga suatu tingkat sekitar 0,2 persen, mengubah energi yang terserap ke dalam kristal menjadi cahaya. Densitas kristal yang tinggi, bersamaan dengan nomor atom efektif yang tinggi, menghasilkan suatu efisiensi deteksi yang tinggi. Foton-foton sinar x, yang bergerak melalui kristal, berinteraksi dengan atom-atom kristal melalui mekanisme-mekanisme penyerapan fotolistrik yang biasa, penghamburan Compton, dan produksi pasangan. Atom-atom yang teraktifkan akan kembali ke kondisi dasar dengan memancarkan kuantum cahaya.

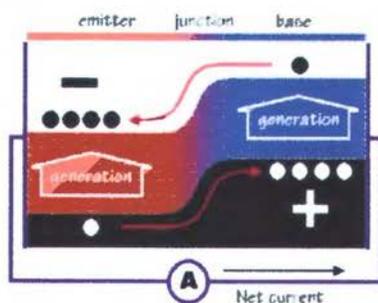
Tabel 2.1. Bahan-bahan Skintilasi (Sumber: "Pengantar Fisika Kesehatan", Herman Cember)

Fosfor	Densitas (g/cm ³)	Panjang gelombang dari emisi maksimum Å	Tinggi pulsa relatif	Waktu peluruhan (detik)
NaI (Tl)	3,67	4100	210	0,25
CsI (Tl)	4,51	Blue	55	1,1
KI (Tl)	3,13	4100	50	1,0
Anthracene	1,25	4400	100	0,032
Trans- Stilbene	1,16	4100	60	0,0064
Plastik		3550-4500	28-48	0,003-0,005
Cairan		3550-4500	27-49	0,002-0,008
p-Terphenyl	1,23	4000	40	0,005

Suatu interaksi fotolistrik (fotoelektris) dalam kristal pada pokoknya menghasilkan fotoelektron-fotoelektron mono-energitik, yang pada gilirannya menghasilkan pulsa-pulsa cahaya dengan intensitas yang kira-kira sama. Pulsa-pulsa cahaya ini, yang memiliki intensitas yang sama, menimbulkan pulsa-pulsa keluaran arus dengan besar yang hampir sama. Sebaliknya, pada penghamburan Compton, suatu spektrum kontinyu dihasilkan oleh elektron Compton – elektron yang paling energetik yang dihasilkan oleh penghamburan balik 180° dari foto insiden. Elektron Compton yang paling energetik dalam spektrometri skintilasi disebut “tepi-Compton”. Foton-foton yang terhambur mungkin bergerak keluar dari kristal, atau mungkin foton tersebut berinteraksi lagi, baik melalui absorpsi fotolistik (yang merupakan interaksi yang paling mungkin) ataupun melalui penghamburan Compton lainnya.

2.8. Photovoltaic (Solar Cell)

Photovoltaic atau solar sel terbuat dari material khusus yang disebut semikonduktor, salah satu yang biasa digunakan adalah silikon. Pada dasarnya ketika cahaya mengenai sel, sejumlah porsi cahaya diserap oleh material semikonduktor. Energi ini membuat elektron terlepas, membuatnya bergerak bebas. Solar sel juga semuanya memiliki satu atau lebih medan listrik yang berfungsi untuk memaksa elektron agar dapat mengalir ke arah tertentu. Aliran elektron ini disebut arus listrik. Dan dengan menempatkan kontak dari metal pada permukaan atas dan permukaan bawah solar sel kita dapat menarik arus untuk keluar.



Currents in a p-n junction under illumination

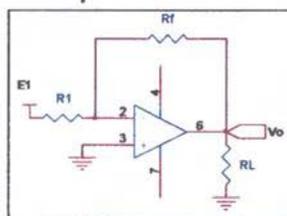
- if an electrical circuit is made between the emitter and base, a current will flow.
- the current continues to flow while the solar cell is illuminated.

Gambar 2.4 Prinsip Kerja Solar Sel (sumber: <http://ilc.tsms.soton.ac.uk>)

2.9. Analog Signal Conditioning

Prinsip yang digunakan pada alat ukur radiasi adalah mengubah energi radiasi yang datang menjadi bentuk energi lain, yaitu pulsa listrik. Tetapi karena pulsa listrik yang dihasilkan sensor masih terlalu kecil, maka diperlukan rangkaian penguat yang berfungsi untuk memperbesar tegangan maupun arus dari pulsa listrik tersebut. Susunan dalam gambar (2.6) dapat digunakan untuk memperoleh keluaran yang merupakan kombinasi linier dari sejumlah sinar yang diterima oleh sensor. Karena adanya hubungan dengan tanah semu pada masukan OP AMP maka:

$$V_o = -\frac{R_f}{R_i} \times V_i \quad \dots(2.13)$$



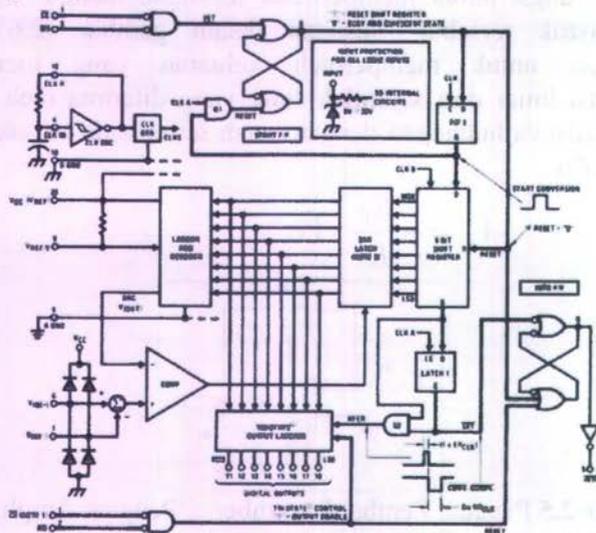
Gambar 2.5 Penguat Pembalik (sumber : "Penguat Amplifier dan Rangkaian Terpadu Linier", Robert F. Coughlin)

Pada umumnya keluaran dari rangkaian ini masih berupa sinyal analog tetapi sinyal sudah dikondisikan menjadi sinyal linier sehingga mudah untuk diproses oleh rangkaian selanjutnya.

2.10. ADC (Analog to Digital Converter)

Piranti-piranti dan sistem logika hanya mengenal isyarat digital. Tetapi, kebanyakan isyarat seperti isyarat yang dihubungkan dengan transduser mempunyai bentuk analog. Sebelum diumpankan ke sistem digital, isyarat ini harus diubah ke dalam bentuk analog ke digital (analog-to-digital converter, ADC). Sebaliknya, keluaran dari sistem digital dapat diubah ke dalam analog oleh pengubah digital ke analog (digital-to-analog converter DAC).

Pengubahan analog ke digital mengambil masukan analog, mencupliknya, kemudian mengubah amplitudo dari setiap cuplikan menjadi sandi digital. Keluarannya adalah sejumlah bit-bit digital parallel yang status logikanya menunjukkan amplitudo dari setiap cuplikan.



Gambar 2.6 Blok Diagram ADC 0804 (sumber : <http://www.st.com>)

2.11. Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah single chip computer yang memiliki kemampuan untuk diprogram dan digunakan untuk tugas-tugas yang berorientasi kontrol.

Dalam segi arsitektur perangkat kerasnya, mikrokontroler dalam IC-nya selain CPU juga terdapat device lain yang memungkinkan mikrokontroler berfungsi sebagai single chip computer. Dalam sebuah IC mikrokontroler telah terdapat ROM, RAM, EPROM, serial interface dan paralel interface, timer, interrupt controller, konverter analog ke digital, dan lainnya (tergantung fitur yang melengkapi mikrokontroler tersebut..

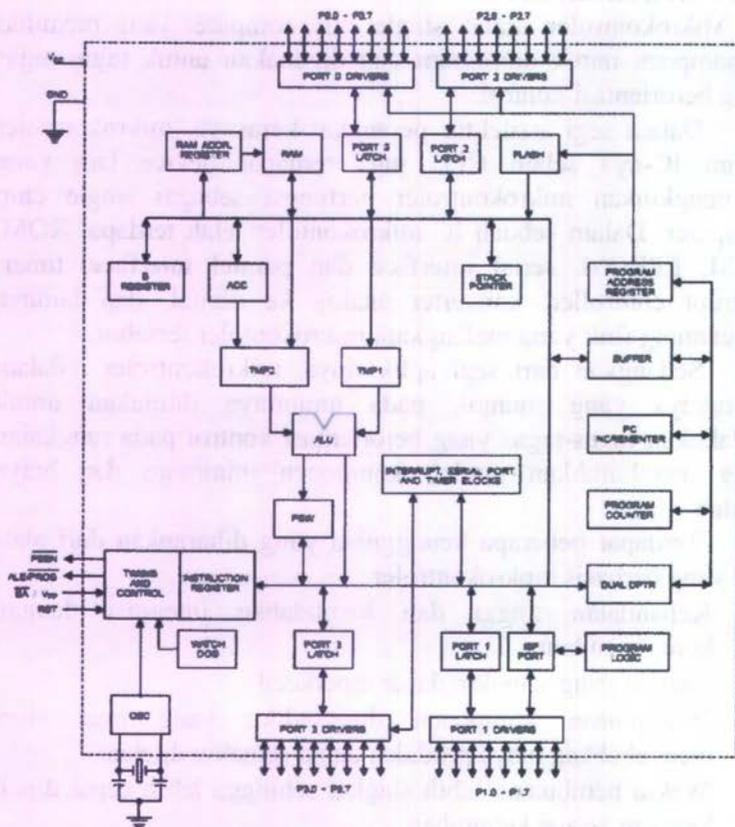
Sedangkan dari segi aplikasinya, mikrokontroler, dalam bentuknya yang mungil, pada umumnya ditujukan untuk melakukan tugas-tugas yang berorientasi kontrol pada rangkaian yang membutuhkan jumlah komponen minimum dan biaya rendah.

Terdapat beberapa keunggulan yang diharapkan dari alat-alat yang berbasis mikrokontroler :

- Kehandalan tinggi dan kemudahan integrasi dengan komponen lain
- Ukuran yang semakin dapat diperkecil
- Penggunaan komponen dipersedikit yang juga akan menyebabkan biaya produksi dapat semakin ditekan
- Waktu pembuatan lebih singkat sehingga lebih cepat dijual ke pasar sesuai kebutuhan
- Konsumsi daya yang rendah

Mikrokontroler dengan arsitektur 8051 merupakan salah satu jenis arsitektur mikrokontroler yang paling lama dan paling banyak digunakan di dunia. Arsitektur ini dikeluarkan pertama kali oleh intel dan kemudian sangat populer.

IC mikrokontroler dikemas dalam bentuk yang berbeda. Namun pada dasarnya fungsi kaki yang ada pada IC memiliki persamaan. Dibawah ini adalah gambar salah satu bentuk IC seri mikrokontroler 8051.



Gambar 2.7 Konfigurasi kaki IC mikrokontroler 89S51 PDIP 40 pin (sumber : www.atmel.com)

Berikut ini adalah penjelasan fungsi tiap kaki yang biasa ada pada seri mikrokontroler 8051.

1. Port 0

Merupakan *dual-purpose* port (port yang memiliki dua kegunaan). Pada desain yang sederhana digunakan sebagai port I/O (input/Output). Pada desain lebih lanjut pada perancangan dengan memori eksternal digunakan sebagai

data dan address yang di-multiplex. Port 0 terdapat pada pin 32-39.

2. Port 1

Merupakan port yang hanya berfungsi sebagai port I/O, kecuali pada IC 8032/8052 yang menggunakan P1.0 dan P1.1 sebagai input eksternal untuk timer ketiga (T3). Port 1 terdapat pada pin 1-8.

3. Port 2

Merupakan dual-purpose port. Pada desain minimum digunakan sebagai port I/O. Pada desain lebih lanjut digunakan sebagai byte dari address. Port 2 terdapat pada pin 21-28.

4. Port 3

Merupakan dual-purpose port. Selain sebagai prt I/O juga mempunyai fungsi khusus yang ditunjukkan pada tabel (2.2).

Tabel 2.2. Fungsi khusus port 3 (Sumber : "AT89 Series Hardware Description", Atmel)

Port Pin	Fungsi Alternatif
P3.0	RXD (serial input port)
P3.1	TXD (serial output port)
P3.2	$\overline{\text{INT0}}$ (external interrupt 0)
P3.3	$\overline{\text{INT1}}$ (external interrupt 1)
P3.4	$\overline{\text{T0}}$ (timer 0 external input)
P3.5	$\overline{\text{T1}}$ (timer 1 external input)
P3.6	$\overline{\text{WR}}$ (external data memory write strobe)
P3.7	$\overline{\text{RD}}$ (external data memory read strobe)

5. PSEN (Program Store Enable)

PSEN adalah kontrol sinyal yang mengijinkan untuk mengakses program (code) memory eksternal. Pin ini dihubungkan ke pin OE (Output Enable) dari EPROM. Sinyal PSEN akan 0 pada tahap fetch (penjemputan) instruksi. PSEN akan selalu bernilai 0 pada pembacaan program memori eksternal. PSEN terdapat pada pin 29.

6. ALE (Adress Lacth Enable)

ALE digunakan untuk men-demultiplex address dan data bus. Ketika menggunakan program memori eksternal port 0 akan berfungsi sebagai address dan data bus. Pada setengah paruh pertama memory cycle ALE akan bernilai 1 sehingga mengijikan penulisan alamat pada register eksternal dan pada setegah paruh berikutnya akan bernilai satu sehingga port 0 dapat digunakan sebagai data bus. ALE terdapat pada pin 30.

7. EA (External Access)

Jika EA diberi masukan 1 maka 8051/8052 menjalankan program memori internal saja. Jika EA diberi masukan 0 (ground) maka 8051/8052 hanya akan menjalankan program memori eksternal (PSEN akan bernilai 0). EA terdapat pada pin 31.

8. RST (Reset)

pada pin 9 merupakan reset dari 8051. jika pada pin ini diberi masukan 1 selama minimal 2 *machine cycle* maka sistem akan di-reset dan register-register internal pada 8051 akan berisi nilai default tertentu. Nilai default setelah sistem reset tersebut dapat dilihat pada tabel (2.3).

Tabel 2.3 Nilai register setelah di-reset (Sumber : "AT89 Series Hardware Description", Atmel)

REGISTER	ISI
Program counter	0000H
Accumulator	00H
B regiser	00H
PSW	00H
SP	07H
DPTR	0000H
Port 0-3	FFH
IP (8031/8051)	XXX00000B
IP (8032/8052)	XX000000B
IE (8031/8051)	0XX00000B
IE (8032/8052)	0X000000B
Timer Register	00H
SCON	00H
SBUF	00H
PCON (HMOS)	0XXXXXXXB
PCON (CMOS)	0XXX0000B

9. On-Chip Oscilator

8051 telah memiliki on-chop oscilator yang adpat bekerja jika di-drive menggunakan kristal. Tambahan kapasitor diperlukan untuk menstabilkan sistem. Nilai kristal yang biasa digunakan pada keluarga MCS-51 adalah 12 MHz walaupun pada jenis 80C31BH-1 dapat menggunakan kristal dengan frekuensi sampai 16 MHz. On-chip oscilator tidak hanya dapat di-drive daengan kristal, tapi juga dapat digunakan TTL oscillator.

10. Koneksi Power

11. 8051 beroperasi pada tegangan 5 volt. Pin Vcc terdapat pada pin 40. Sedangkan Vss (ground) terdapat pada pin 20.

2.12. Pengukuran dan Kalibrasi

Akurasi suatu instrument tidak sendirinya timbul dari suatu rancangan yang baik, tetapi dipengaruhi oleh unjuk kerja (*performance*), stabilitas keandalan dan biaya yang tersedia. Akurasi hanya akan timbul dari kalibrasi yang benar, artinya hasil pengukurannya dapat ditelusur kembali ke standard nasional atau internasional.

a. Definisi Kalibrasi

Kalibrasi adalah serangkaian kegiatan yang membentuk, hubungan antara nilai yang ditunjukkan oleh instrument pengukur atau system pengukuran, atau nilai yang diwakili oleh bahan ukur, dengan nilai- nilai yang sudah diketahui yang berkaitan dari besaran yang diukur dalam kondisi tertentu. (**definisi: Metrologi**)

Kalibrasi menurut definisi **Per-Menkes. No. 363 Tahun 1998** adalah adalah kegiatan peneraan untuk menentukan kebenaran nilai penunjukan alat ukur dan atau bahan ukur.

Dengan kata lain kalibrasi adalah kegiatan untuk menentukan kebenaran konvensional nilai penunjukkan alat ukur dan bahan ukur dengan cara membandingkan terhadap standar ukurnya yang mampu telusur (*traceable*) ke standar nasional untuk satuan ukuran dan/atau internasional. (**definisi: DSN**)

Catatan :

1. Dari hasil kalibrasi dapat diketahui kesalahan penunjukkan instrument ukur, system pengukuran atau bahan ukur, atau pemberian nilai pada tanda skala tertentu.
2. Suatu kalibrasi dapat juga menentukan sifat-sifat metrologi lain.
3. Hasil kalibrasi dapat dicatat dalam suatu dokumen, disebut sebagai sertifikat kalibrasi atau laporan kalibrasi.
4. Hasil kalibrasi dapat dinyatakan sebagai suatu faktor kalibrasi, atau sebagai suatu deret faktor kalibrasi dalam bentuk kurva kalibrasi.

Suatu kegiatan bisa dikatakan merupakan kegiatan kalibrasi, jika kegiatan tersebut menghasilkan :

- Sertifikat Kalibrasi.
- Lembar hasil / laporan kalibrasi yang memuat / mencantumkan / berisi: angka koreksi, deviasi/penyimpangan, ketidak pastian dan batasan-batasan atau standard penyimpangan yang diperkenankan.
- Label/ penandaan.

b. Tujuan Kalibrasi

- Menentukan deviasi kebenaran konvensional nilai penunjukkan suatu instrument ukur, atau deviasi dimensi nasional yang seharusnya untuk suatu bahan ukur.
- Menjamin hasil-hasil pengukuran sesuai dengan standard nasional maupun internasional.

Ketidakpastian Pengukuran

Pada umumnya hasil pengukuran kuantitatif dinyatakan sebagai nilai tunggal yang diyakini sebagai Nilai Benar (*True Value*). Hal tersebut tidak tepat sebab nilai benar adalah suatu konsep yang ideal atau hanya merupakan hipotesa.

Hasil pengukuran kuantitatif itu sendiri banyak dipengaruhi oleh berbagai faktor yang berkontribusi ke arah penyimpangan. Faktor-faktor tersebut antara lain :

1. Peralatan
2. Metode analisa
3. Metode pengukuran
4. Operator
5. Dan lain-lain

Dengan demikian hasil pengukuran kuantitatif akan menjadi lebih lengkap bila disertai dengan nilai ketidakpastiannya. Nilai tersebut hanya berupa rentang ukur dimana nilai benarnya diperkirakan berada di dalamnya.

Di dalam ISO 17025 (paragraph 5,4,7) penentuan ketidakpastian pengukuran merupakan hal yang wajib dikerjakan baik untuk laboratorium kalibrasi maupun pengujian. Dengan demikian pemahaman dan kemampuan tentang ketidakpastian pengukuran perlu mendapat perhatian. Hal tersebut dapat dilakukan dalam bentuk mengikuti pelatihan- pelatihan maupun seminar- seminar.

Prasyarat estimasi ketidakpastian pengukuran

Estimasi ketidakpastian pengukuran yang didasarkan pada pedoman ISO "Guide to the expression of uncertainty in measurement" (1993) dapat diaplikasikan di laboratorium pengujian asalkan kondisi pelaksanaan pengujiannya memenuhi persyaratan berikut :

- (a) Menggunakan metode pengujian yang dilaksanakan secara mantap dan terkendali karena didukung oleh sistem jaminan mutu dan pengendalian mutu hasil yang memadai/efektif.
- (b) Untuk mencapai kondisi (a) di atas diperlukan antara lain personil penguji yang kompeten, peralatan yang terpelihara, terverifikasi dan terkalibrasi, reagen yang terkontrol, standar acuan yang sesuai dengan persyaratan, penggunaan bahan acuan (reference materials) untuk pengendalian mutu hasil pengujian, kalibrasi peralatan, validasi metode; penggunaan control chart dalam pengujian rutin, dll. Metode pengujian harus terdokumentasikan secara lengkap dan mendetail dimana metode itu teridentifikasi dengan

jas dan tidak lagi memerlukan informasi tambahan bagi pelaksana/analisis.

- (c) Dalam estimasi ketidakpastian ini, adanya kesalahan besar yang disebut "gross error" seperti kesalahan sampling di lapangan, salah perhitungan dsb, tidak diperhitungkan. Yang diperhitungkan hanyalah efek-efek yang relevan atau secara langsung berpengaruh kepada hasil pengujian.

Nilai ketidakpastian sudah memperhitungkan / mempresentasikan semua ketidakpastian yang bersumber dari efek acak (yaitu efek yang menimbulkan kesalahan acak) maupun efek sistematis (yaitu efek yang menimbulkan kesalahan sistematis atau bias).

Ketidakpastian tidak sama dengan kesalahan atau error. Nilai kesalahan adalah kuantitas yang sering dapat dievaluasi dan dengan nilai itu suatu hasil pengukuran bisa dikoreksi ; tetapi besarnya koreksi tersebut tidak bisa eksak yang artinya mengandung ketidakpastian yang turut berkontribusi kepada ketidakpastian pengukuran tersebut.

Definisi

1. Ketidakpastian Pengukuran (Uncertainty of Measurement) adalah suatu parameter berupa dispersi nilai-nilai yang mungkin diambil sebagai nilai besaran ukur (Measurand). Dengan kata lain, Ketidakpastian pengukuran adalah parameter yang terkait dengan hasil pengukuran, yang mengkarakterisasikan disperse (penyebaran) nilai-nilai yang mewakili nilai yang diukur.
Atau : interval (kisaran) nilai di dalam mana nilai kuantitas yang diukur itu terletak, yang artinya di dalam mana "nilai benar" diperkirakan berada.
2. Ketidakpastian Tipe A adalah ketidakpastian yang dievaluasi berdasarkan metode statistik. Beberapa komponen dapat dievaluasi dengan metode statistik dari distribusi statistik hasil-hasil pengukuran berulang (repetitive measurement), yang dinyatakan dalam bentuk nilai "standard deviation"

(simpangan baku). Ketidakpastian Tipe A pada umumnya berasal dari efek acak (random effects).

3. Ketidakpastian Tipe B adalah ketidakpastian yang dievaluasi berdasarkan metode selain statistik. Misalkan, berdasarkan *asumsi* probabilitas distribusi yang berdasarkan pengalaman atau informasi yang tersedia.
Ketidakpastian Tipe B bisa berasal dari *efek* acak dan sistematis (random and systematic effect).
4. Ketidakpastian Gabungan (Combined Uncertainty) merupakan gabungan ketidakpastian baik tipe A maupun tipe B.
5. Ketidakpastian Bentangan (Expanded Uncertainty) merupakan hasil kali ketidakpastian gabungan dengan faktor cakupan.
6. Faktor Cakupan (Coverage Factor) merupakan faktor pengali yang besarnya dihitung dari derajat kebebasan efektif hasil perhitungan dan tingkat *confidential* yang ditetapkan.
7. Tingkat Kepercayaan / *Confidential Level* adalah nilai probabilitas yang diasumsikan untuk kondisi seluruh proses pengukuran.
8. Distribusi (sebaran) kebolehjadian nilai pengukuran.
9. Distribusi segi empat (rectangular) ialah distribusi nilai- nilai yang kebolehjadiannya merata di antara dua nilai batas tertentu.

Klasifikasi Komponen Ketidakpastian

Pengukuran secara umum adalah menentukan dan memastikan nilai yang diukur. Hasil suatu pengukuran hanya merupakan pendekatan (*Approximation*) atau perkiraan (*estimate*) dari nilai yang diukur dan dilengkapi dengan nilai ketidakpastiannya.

Kesalahan dalam pengukuran mempunyai dua komponen yang perlu diperhatikan, yaitu :

- Kesalahan acak (*random component*)
- Kesalahan sistematis (*systematic component*)

Jika ditinjau berdasarkan keterdugaannya, maka kesalahan acak adalah kesalahan yang ditimbulkan dari hal-hal yang tak terduga (*unpredictable*), sedangkan kesalahan sistematis adalah kesalahan yang ditimbulkan karena suatu hal yang diyakini dapat mempengaruhi hasil ukur atau dapat terduga (*predictable*).

Jika ditinjau dari desimisi sesuai ISO, maka : kesalahan acak adalah suatu hasil pengukuran dikurangi nilai rata-rata dari sejumlah besar hasil pengukuran terulang suatu besaran ukur, sedangkan kesalahan sistematis adalah nilai rata-rata dari sejumlah besar hasil pengukuran berulang suatu besaran ukur dikurangi nilai sebenarnya.

Analisa kesalahan (ISO) didasarkan pada metode penentuan sebaran kesalahan itu. Jika sebaran suatu kesalahan telah diidentifikasi melalui nilai rata-rata dan simpangan bakunya, koreksi dan ketidakpastian mudah ditentukan

Koreksi adalah nilai yang jika ditambahkan pada hasil pengukuran akan menghilangkan kesalahan sistematis yang diasumsikan (sama dengan nilai sebenarnya)

Keterangan tambahan :

- Koreksi mengkompensasikan kesalahan sistematis.
- Simpangan baku mengkarakterisasikan kesalahan acak. Sejarah pada umumnya hasil pengukuran kuantitatif



Gambar 2.8 Kesalahan acak dan kesalahan sistematis (sumber: uncertainty measurement, ISO GUM)

Ketidakpastian dalam pengukuran terdiri dari beberapa komponen dan bila ditinjau dari metodenya, maka dapat dikelompokkan dalam 2 (dua) tipe yaitu :

- Type A : Evaluasi menggunakan metode statistik.
- Type B : Evaluasi dilakukan berdasarkan metode selain metode statistik.

Catatan :

Jangan mengasosiasikan atau mengamsumsikan Type A dengan kesalahan acak, atau Type B dengan kesalahan sistematis

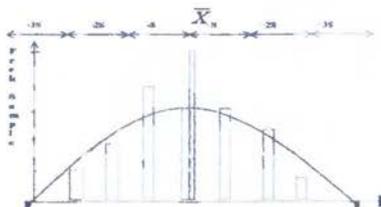
Dalam melakukan klasifikasi ketidakpastian adalah tidak sederhana hanya memilih komponen untuk dimasukkan dalam kategori A dan B atau gabungan keduanya. Tetapi harus membuat model matematis yang menggambarkan proses pengukuran. Hal yang perlu diperhatikan adalah :

- Komponen dari ketidakpastian timbul dari *random effect*.
- Komponen dari ketidakpastian timbul dari *systematic effect*.

Pada prinsipnya komponen ketidakpastian yang timbul dari *systematic effect* evaluasi menggunakan metode A dan *random effect* evaluasi menggunakan metode B.

Evaluasi Statistik

Evaluasi type A dilakukan berdasarkan metode statistik terhadap hasil data pengamatan yang valid (menghitung ketidakpastian dari data pengukuran). Sedangkan untuk evaluasi type B dilakukan berdasarkan metode selain statistik. Berikut dibawah ini adalah histogram hasil pengukuran beserta kurva gaussian.



Gambar 2.9 Histogram hasil pengukuran dan kurva gaussian
(sumber: uncertainty measurement, ISO GUM)

Pendekatan umum :

- 68% dari sebaran akan berada antara $\bar{x} - s$ dan $\bar{x} + s$
- 95% dari sebaran akan berada antara $\bar{x} - 2s$ dan $\bar{x} + 2s$
- 99% dari sebaran akan berada antara $\bar{x} - 3s$ dan $\bar{x} + 3s$

Evaluasi Type-A

Evaluasi type A dari standar *uncertainty* didasarkan pada beberapa beberapa metode statistik yang *valid* dari pengamatan yang dilakukan secara serial.

Komponen dari evaluasi type A terhadap standar *uncertainty* timbul dari adanya *random effect*. Hukum gauss atau *normal* tentang adanya bentuk kesalahan-kesalahan (*error*) didasarkan atas *study analytical* dari *random effect*.

a. Nilai Rata-rata (*mean*)

Dari suatu pengukuran besaran input y adalah besaran ukur x , maka perkiraan terbaik untuk harga x adalah harga rata-ratanya, \bar{x} dari n kali pengukuran, x_i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$).

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n} \quad \dots(2.14)$$

Dimana :

$\sum x_i$ = Jumlah nilai sampling
 n = Banyaknya sampling

b. Simpangan (*deviation*)

Simpangan (*deviation* adalah perbedaan antara nilai pengukuran (x_i) dengan nilai rata-rata (\bar{x}), sehingga :

$$D = x_i - \bar{x} \quad \dots(2.15)$$

Dimana :

D = Deviasi (+ atau -)
 \bar{x} = Nilai rata-rata
 x_i = Nilai pengukuran

c. Simpangan Baku (Standard Deviation)

Simpangan baku (standard deviation) $S(x_i)$ digunakan untuk memberikan perkiraan terhadap distribusi x . Untuk menghitung $S(x_i)$ maka dipergunakan rumus :

$$S(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad \dots(2.16)$$

d. Experimental standard deviation of the mean (ESDM)

Experimental standard deviation of the mean (ESDM) sering juga disebut dengan istilah Standard Uncertainty (Type A)

ESDM, $S(x)$ adalah harga yang menjadi ukuran seberapa dekatnya harga rata-rata x ke harga sebenarnya.

$$S(\bar{x}) = \frac{S(x_i)}{\sqrt{n}} \longrightarrow U(x_i) = S(\bar{x})$$

$$ESDM = \frac{U_i}{\sqrt{n}} \quad \dots(2.17)$$

Dimana :

$ESDM$ = Rata-rata nilai simpangan baku

Keterangan :

$ESDM$ Bukan ukuran ketidak pastian yang tepat, kecuali jika kesalahan pengukuran bersifat acak murni atau jika besaran ukur memiliki nilai sebenarnya yang tunggal.

e. Derajat Kebebasan (*Degree of freedom*)

Derajat kebebasan akan selalu diberikan/dihitung jika evaluasi type A dari ketidakpastian didokumentasikan dalam perhitungan statistik, umumnya menggunakan beberapa nilai yang telah diketahui sebagai derajat kebebasan dengan diberi simbol v dan dapat dijelaskan sebagai berikut :

$$v = n - 1 \quad \dots(2.18)$$

Dimana :

v = derajat kebebasan

n = jumlah n - data pengukuran berulang

Dalam distribusi gaussian : $v = \infty$ (ideal)

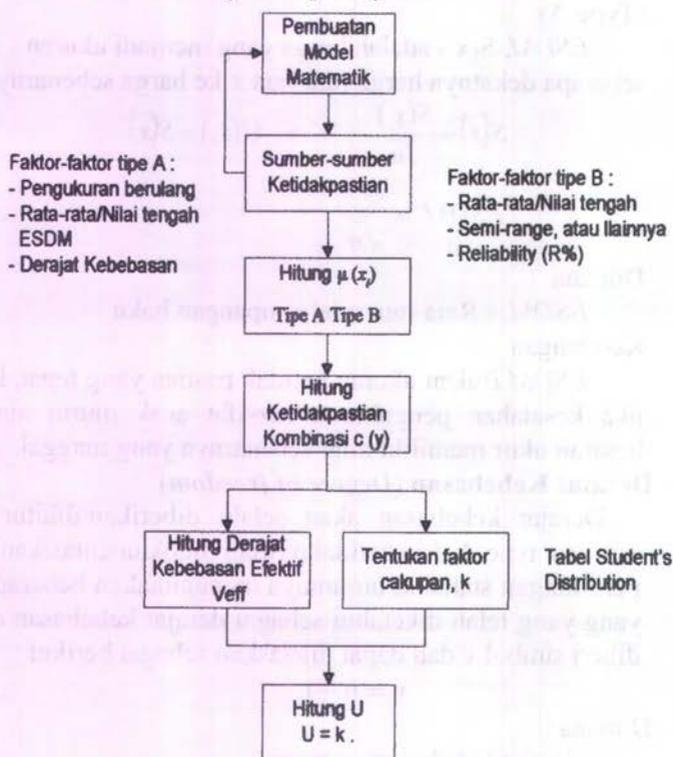
Dalam prakteknya nilai v adalah antara 1 s/d ∞ (paduan dengan melihat distribusi $-T$ Student)

Ketidakpastian yang dinyatakan dengan s adalah ketidakpastian baku (tingkat kepercayaan 68%). Untuk tingkat kepercayaan yang lebih tinggi, maka :

$$X = m \pm k.s \quad \dots(2.19)$$

Dimana k adalah faktor cakupan (*coverage factor*) yang diperoleh dari distribution T-Student. Umumnya diambil :

- $k = 2$ Untuk tingkat kepercayaan 95%
- $k = 3$ Untuk tingkat kepercayaan 99%



Gambar 2.10 Bagan ketidakpastian (sumber: uncertainty measurement, ISO GUM)

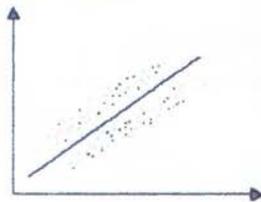
f. Regresi (Regression)

Dua kejadian yang saling berhubungan. khususnya hubungan dua kejadian yang dapat diukur secara matematis, bukan sekedar hubungan. Dalam dua hal yang saling berhubungan, ada dua hal yang perlu diukur dan dianalisis, yaitu pertama bagaimana hubungan fungsional dan kejadian tersebut atau bagaimana persamaan matematis yang menghubungkan (mempresentasikan) hubungan diantara dua kejadian itu, dan kedua bagaimana kekuatan atau keamatan hubungan dua kejadian itu.

Bagian pertama kita pelajari dalam analisis regresi, sedangkan bagian kedua kita pelajari dalam analisis korelasi. Untuk mempermudah melakukan perumusan dan analisa hubungan dua kejadian, maka dua kejadian tersebut dilambangkan dengan variabel-variabel, yaitu kejadian pertama dilambangkan dengan variabel x dan kejadian kedua dengan variabel y . Apabila yang dilibatkan hanya variabel y dan x , maka analisis hubungan tersebut, dinamakan regresi sederhana dan korelasi sederhana, sedangkan bila melibatkan lebih dari dua variabel, misainya x_1 , x_2 , dan y , maka analisis hubungan tersebut dinamakan regresi ganda dan korelasi ganda. Namun disini akan dipaparkan mengenai analisis regresi sederhana dan korelasi sederhana.

g. Regresi linear sederhana

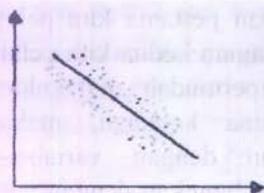
Regresi sederhana ada yang bentuknya linier dan ada yang bentuknya tidak linier.



Gambar 2.11 Hubungan antara x dan y searah (positif) linier
(sumber: uncertainty measurement, ISO GUM)

Untuk memahami bentuk linier dan bentuk tidak linier ini, dapat dilihat pada diagram pencar dari data variabel y yang mencerminkan dua kejadian pada Gambar 2.11

Pada gambar 2.11 diatas menunjukkan bahwa pola atau arah hubungan antara variabel x dengan variabel y adalah searah (positif) dan linear. Dalam hal ini kenaikan nilai x diikuti dengan kenaikan nilai y atau sebaliknya penurunan nilai x diikuti dengan penurunan nilai y secara linier. Begitu juga sebaliknya dengan gambar 2.12.



Gambar 2.12 Hubungan antar x dan y berlawanan arah (negatif) linier

Pada gambar 2.12. menunjukkan hubungan antara variabel x dan y berlawanan arah (negatif) dan linear. Dalam hal ini nilai x naik maka nilai y turun. sebaliknya bila x turun maka nilai y naik secara linear. Pada gambar 2.11 dan gambar 2.12. dimana sebaran titik mempunyai pola hubungan yang linear atau lurus. Garis linear atau garis lurus yang terdapat pada dua gambar tersebut merupakan garis perkiraan atau taksiran yang dipakai. untuk mewakili pola sebaran data tersebut. Garis linier yang mewakili sebaran data tersebut dinamakan dengan garis regresi.

Dengan demikian yang dimaksud dengan garis regresi adalah garis lurus atau garis linear yang merupakan garis taksiran atau perkiraan untuk mewakili pola hubungan antara variabel x dengan variabel y (dalam hal ini x disebut variabel bebas dan y disebut variabel tak bebas).

Garis regresi yang terdapat pada gambar 2.11 dan gambar 2.12 diatas, mempunyai persamaan umum sebagai berikut:

$$\hat{y} = a + bx \quad \dots(2.20)$$

\hat{y} = nilai taksiran untuk variabel tak bebas (y)

x = nilai variabel bebas

a = intersep (pintasan) bilamana $x = 0$

b = koefisien arah atau slope dari garis regresi (dalam hal ini a dan b disebut koefisien regresi)

Variabel bebas x sering disebut sebagai prediktor yaitu variabel yang dipakai untuk memprediksi nilai x , sedangkan variabel \hat{y} sering disebut variabel yang diprediksi atau disebut juga variabel terikat. Mengingat kita banyak membuat banyak garis regresi pada kedua gambar diatas, maka timbul pertanyaan yaitu persamaan regresi mana yang paling baik untuk mewakili sebaran titik data tersebut? Dalam hal ini dipakai suatu kriteria bahwa persamaan regresi yang paling baik adalah regresi yang mempunyai total kuadrat kesalahan atau total kuadrat selisih atau total kuadrat error $\sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i)^2$ yang paling minimum. Untuk mendapatkan

total kuadrat error yang paling minimum tersebut bisa dipakai metode kuadrat minimum (*Least Squares Method*). Dengan menggunakan metode ini, persamaan regresi linear akan mempunyai total kuadrat error minimum bilamana koefisien regresi a dan b dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$y = a + bx \quad \dots(2.21)$$

Dapat diperoleh dari rumus

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2} \quad \dots(2.22)$$

Dan

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \quad \dots(2.23)$$

Evaluasi type B

Evaluasi Tipe B terhadap Standar Ketidak-pastian diperoleh dengan cara selain analisa statistik dari data pengamatan yang dilakukan secara seri. Umumnya diperoleh dari pertimbangan pengetahuan yang menggunakan semua informasi yang relevan termasuk :

- Data pengukuran terdahulu dengan pengalaman atau pengetahuan umum dari perilaku komponen, material dan instrumen yang digunakan.
- Data diperoleh dari hasil kalibrasi atau laporan lainnya.
- Ketidakpastian yang diperoleh dari buku panduan atau manual book.

Langkah-langkah penting yang perlu diperhatikan antara lain :

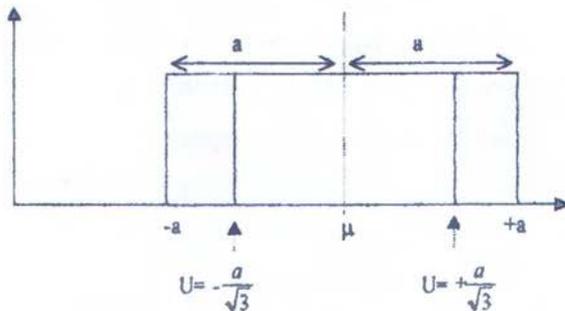
- Mengumpulkan selengkap mungkin informasi tentang kesalahan, jika mungkin melakukan percobaan terpisah untuk mengetahui dampak dari besaran yang berpengaruh terhadap pengukuran.
- Berdasarkan informasi diatas, kemudian memperkirakan sebaran kesalahannya (misalnya : persegiempat atau Gaussian/normal atau sebaran sesungguhnya bila informasinya cukup).
- Membuat taksiran tingkat kepercayaanya.
- Menentukan nilai rata-rata simpangan bakunya, nilai rata-rata untuk koreksi dan simpangan baku untuk ketidakpastian koreksi.
- Mencatat semua asumsi dan penalarannya secara rinci

Ketika menggunakan ketidakpastian Type B, kita harus mengubah kuota ketidakpastian ke standar ketidakpastian. Mengubah kuota ketidakpastian ke

standar ketidakpastian dari pengetahuan pada probabilitas distribusi ketidakpastiannya dengan jalan membagi kuota ketidakpastian dengan faktor cakupan (k) yang didapat dari probabilitas distribusi.

a. Distribusi Persegiempat (Rectangular Distribution)

Distribusi persegiempat seperti terlihat dibawah. Standar ketidakpastiannya dihitung dengan cara membagi "a" dengan $\sqrt{3}$.



Gambar 2.13 Distribusi Persegi Panjang

Dalam distribusi persegiempat diasumsikan bahwa probabilitas nilai diatas maupun dibawah batas adalah sama.

$$U = s = \frac{a}{\sqrt{3}} \quad \dots(2.24)$$

Dimana :

U = Ketidakpastian standar

s = Standar deviasi

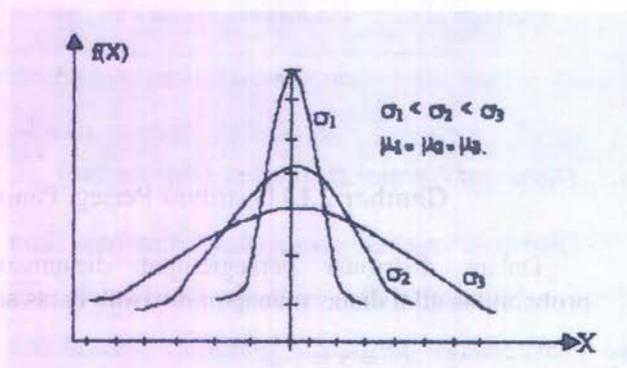
a = Semi range limit yang diperoleh dari x_i

b. Distribusi normal (Gaussian Distribution)

Distribusi normal merupakan distribusi kontinyu yang sangat penting dalam statistik dan banyak dipakai dalam

memecahkan persoalan. Distribusi normal disebut juga distribusi Gauss.

Distribusi normal $f(x)$ didefinisikan pada interval terbuka $-\infty < x < +\infty$. Distribusi normal dengan parameter μ dan σ^2 biasanya ditulis dengan $N(\mu, \sigma^2)$. Dengan memperhatikan persamaan umum dan grafik distribusi normal $f(x)$, tampak bahwa bentuk kurva normal ditentukan oleh dua parameter, yaitu rata-rata (μ) dan simpangan (σ). Semakin runcing dan sebagian besar nilai x akan berkumpul atau mendekati nilai rata-rata (μ). Sebaliknya makin besar nilai σ , maka bentuk kurva akan semakin renggang dan tumpul, dimana sebagian besar nilai-nilai x akan menjauhi nilai rata-rata μ . Berikut ini merupakan baku σ_1 , σ_2 dan σ_3 serta rata-rata μ_1 , μ_2 , μ_3 .



Gambar 2.14 Kurva distribusi Gauss dengan 3 simpangan baku dan rata-rata

Adapun sifat dari distribusi normal adalah sebagai berikut

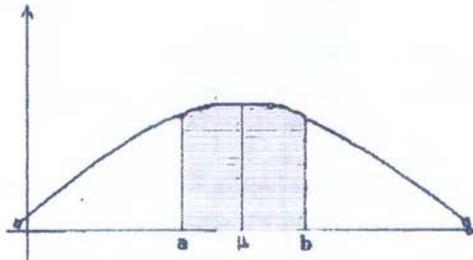
- Grafik simetri terhadap garis teguak $x = \mu$
- Grafik selalu berada diatas sumbu x atau $f(x) > 0$
- Mempunyai satu nilai modus
- Grafiknya mendekati sumbu x , sumbu x merupakan garis batas (asimtot)

- Luas daerah dibawah kurva $f(x)$ dan diatas sumbu x sama dengan 1, yaitu $P(-\infty < x < +\infty) = 1$

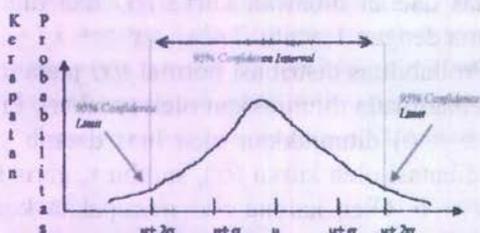
Probabilitas distribusi normal $f(x)$ pada interfal $a < x < b$ sebagaimana ditunjukkan oleh gambar . Probabilitas $P(a < x < b)$ ditunjukkan oleh luas daerah yang diarsir, yang dibatasi oleh kurva $f(x)$, sumbu x , garis tegak $x = a$, dan $x = b$. Oleh karena $f(x)$ merupakan kontinu, maka probabilitas $P(a < x < b)$ dihitung dengan memakai integral dari fungsi $f(x)$ yang dibatasi oleh $x = a$ dan $x = b$, yaitu :

$$P(a < x < b) = \int_a^b f(x) dx = \int_a^b \left(\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \right) e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} dx \dots(2.25)$$

Bentuk Distribusi ini dapat diasumsikan untuk ketidakpastian yang menegaskan suatu *confidence interval* yang dapat menghasilkan tingkat kepercayaan 95 % atau 99%. Standar ketidakpastian diperoleh dengan membagi kuota ketidakpastian terhadap faktor cakupannya (k). Paduan dengan melihat Distribusi T-Student



Gambar 2.15 Distribusi Normal (Gaussian Distribution)



Gambar 2.16 Distribusi Normal dan kurva Gaussian

c. Ketidakpastian Gabungan (U_{combine})

Dalam beberapa hal nilai parameter atau variabel lebih dari satu, sehingga dalam menghitung standar ketidakpastian harus memperhitungkan beberapa parameter tersebut. Perhitungan yang seperti ini disebut dengan standar ketidakpastian Gabungan. Contoh diatas berlaku untuk semua sebaran bebas dan tidak bergantung pada jenisnya (tidak ada masalah jika yang satu mempunyai distribusi Gauss dan lainnya persegiempat). Pendekatan untuk Combine Uncertainty (ketidakpastian gabungan atau total) adalah sebagai berikut :

$$U_z^2 = U_v^2 + U_w^2 + U_x^2 \quad \dots(2.25)$$

Standar ketidakpastiannya bukan ketidakpastian baku, maka persamaan tersebut tidak eksak, melainkan sedikit pesimistik.

Standar keridakpastian gabungan (untuk beberapa input yang berbeda) dari suatu fungsi f , berlaku formula sebagai berikut :

$$U_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 U^2(x_i)} \quad \dots(2.26)$$

Nilai $\frac{\partial f}{\partial x_i}$ timbul dari persamaan :

$$Y = f(x_1, x_2, \dots, x_a) \quad \dots(2.27)$$

Combined Variance

$$U_c^2(y) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right) U^2(x_i) \quad \dots(2.28)$$

$\frac{\partial f}{\partial x_i}$ sesuatu yang ditimbulkan dari turunan suatu fungsi

yang sering disebut juga koefisien sensitivitas (sensitivity coefficient) diberi lambang c , sehingga :

$$U_c^2(y) = \sum_{i=1}^n (c_i)^2 U^2(x_i) = \sum_{i=1}^n [c_i U(x_i)]^2 = \sum_{i=1}^n U_i^2(y) \quad \dots(2.29)$$

d. Faktor Cakupan

Faktor cakupan dalam perhitungan dilambangkan dengan huruf "k", digunakan jika kondisi rumusan (dalil) dari central limit sesuai dan jumlah ketidakpastian dalam $U_c(y)$ adalah tidak berarti .

Prosedur dalam perhitungan nilai k adalah sebagai berikut :

- Mendapatkan persamaan y dan $U_c(y)$
- Memperkirakan derajat kebebasan efektif (v_{eff}) dari pada $U_c(y)$ dengan menggunakan formula sebagai berikut :

$$V_{eff} = \frac{U_c^4(y)}{\sum_{i=1}^n \frac{C_i U^4(x)}{v_i}} \quad \dots(2.30)$$

Dimana

$$c_i \equiv \frac{\partial f}{\partial x_i}, \text{ masing-masing } U(x_i) \text{ memiliki sifat}$$

statistik sendiri

$v_i =$ derajat kebebasan dari $U(x_i)$

Pada sebaran Gaussian nilai $v = \infty$ (untuk keadaan ideal). Sebaran T-student : v nialinya antara 1 s/d ∞ (praktis). Faktor cakupan (k) pada Gauss didekati dengan bilangan pada distribusi T-Student ($k=t$) pada $v = \infty$, maka $k = t$

Perbandingan faktor cakupan k pada 3 jenis sebaran pada beberapa nilai tingkat kepercayaan (*confidence level*) P (%).

Tabel 2.4 Tabel perbandingan faktor cakupan (k) Terhadap kepercayaan P (%)

P (%)	Gauss (Normal)	Persegi-empat	Student Dengan $v = 10$
68.27	1	1.182	1.05
95	1.96	1.645	2.23
95.45	2	1.653	2.28
99	2.576	1.715	3.17
99.73	3	1.727	3.96
100	5	$\geq \sqrt{3}$	-

Nilai-nilai " k " untuk tingkat kepercayaan (*confidence level*) " P " sebagai fungsi (*derajat kebebasan*) " v " tercantum dalam sebaran T-Student.

e. Ketidakpastian Diperluas (Expanded Uncertainty)

Ketidakpastian gabungan $Uc(y)$ direkomendasikan untuk digunakan oleh Standar Nasional Laboratorium yang berfungsi untuk menjalankan komparasi tingkat internasional.

Untuk kalibrasi yang bersifat komersial dan penggunaan dalam pengetesan, lebih tepat perhitungan dari ketidakpastian salah satunya dengan menetapkan interval tentang hasil pengukuran yang mungkin diharapkan untuk mencakup penyebaran yang lebih besar dari distribusi nilai-nilainya. Perhitungan ketidakpastian yang diharapkan adalah ketidakpastian diperluas ($Uexp$) yang diperoleh dari

pengalihan ketidakpastian gabungan (U_c) dengan faktor cakupan (k)

$$U_{\text{exp}} = k \times U_c(y) \quad \dots (24)$$

Pemilihan faktor cakupan (k) akan memperhitungkan tingkat kepercayaan yang digunakan (P) yang dapat memberikan kontribusi terhadap hasil akhir perhitungan dari ketidakpastian diperluas.

Tabel 2.5 Hubungan antara " k " dan " P " dengan derajat kebebasan $\nu = \sim$

Faktor cakupan (k)	Tingkat kepercayaan (P)
1.0	68.27
1.645	90.0
1.96	95.0
2.0	95.45
2.576	99.0
3.0	99.73

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Perancangan dan realisasi Tugas Akhir (TA) ini dilaksanakan di BPFK dan pengujian hasil rancangan dilaksanakan di bagian proteksi radiasi BPFK Surabaya Jalan Karang Menjangan No 22 Surabaya. Waktu perancangan dan pembuatan dilaksanakan pada bulan Maret Sampai dengan bulan Agustus 2008.

3.2. Peralatan Eksperimen

Dalam perancangan tugas akhir ini dilakukan dua eksperimen, yaitu eksperimen pengukuran karakteristik desain sensor laju dosis radiasi sinar x dan kalibrasi alat ukur dosimeter yang dirancang.

3.3. Instrumen Pengukuran Karakteristik Desain Sensor Radiasi Sinar X

Karakteristik fungsi transfer bagian *sensing element* sangat diperlukan untuk mengetahui korelasi linearitas dua besaran yang berbeda sehingga diperoleh informasi yang dapat dimanipulasi untuk tujuan yang diinginkan. Pengukuran karakteristik desain sensor laju radiasi sinar x di Laboratorium Proteksi Radiasi BPFK Surabaya menggunakan instrumen-instrumen penelitian sebagai berikut :

▪ X-Ray Mobile Unit

Sumber pembangkit sinar x yang akan dites menggunakan X-Ray Mobile Unit dengan spesifikasi sebagai berikut :

Manufactured	: PT Trophy Rajawali Indonesia
Model	: OMNIX N60
Power supply	: 220 V (+/- 15 %) 6 kW at 110 kV
Radiography	: -
kV	: 40 – 110 kV in 10 steps

mAs	: 1 – 150 mAs in 19 steps
Fluoroscopy	: 3 mA at 40 – 110 kV
X-ray tube	: 60 mA – 110 kV
	Fixed anode
	1 Focus
Generator	: –
Control Panel	: Manual
	Button mAs
	Button kV
	Button voltage
	Button Graphy/scopy



Gambar 3.1 x ray mobile unit Trophy tipe OMNIX 60

▪ **Dosimeter RADOS 50**

Spesifikasi Dosimeter RADOS model RADOS 50 untuk pengukuran laju dosis sinar x adalah sebagai berikut :



Gambar 3.2 Dosimeter RADOS 50

Detektor : Dioda silikon dengan filter kompensator energi

Radiasi : Sinar x dan gamma

Range : Dose 1 μ Sv – 9.99 Sv
 0.1 mrem – 999 rem

Dose rate 5 μ Sv/h – 3 Sv/h
 0.5 mrem/h – 300 rem/h

Linearitas : $\pm 15\%$

▪ **FLUKE 88 Digital Multimeter**

Pengukuran tegangan sensor yang dirancang menggunakan FLUKE 88 Digital Multimeter dengan spesifikasi sebagai berikut :

Tabel 3.1. Spesifikasi Fluke 88 Digital Multimeter

Fungsi	Range dan resolusi	Akurasi terbaik
VDC	50.000 mV, 500.00 mV, 3000.0 mV, 5.0000 V, 50.0000 V, 1000.0 V	$\pm 0.025\%$
VAC	50.000 mV, 500.00 mV, 3000.0 mV, 5.0000 V, 50.000 V, 500.00 V, 1000.0 V	$\pm 0.4\%$
ADC	300.00 μ A, 5.000 μ A, 50.000 mA, 400.00 mA, 5.0000 A, 10.000 A	$\pm 0.15\%$
AAC	300.00 μ A, 5.000 μ A, 50.000 mA, 400.00 mA, 5.0000 A, 10.000 A	$\pm 0.88\%$
Resistansi	300 Ω – 30.00 M Ω	$\pm 0.08\%$
Kapasitansi	1.100 nF – 50.00 nF	$\pm 1.00\%$
Frekuensi	300.00 Hz, 5.0000 kHz, 999.99 kHz	$\pm 0.008\%$
Temperatur	-200 s/d 1330 $^{\circ}$ C, -328 s/d 2462 $^{\circ}$ C	$\pm 1\%$ pembacaan

- **Sensor laju dosis radiasi sinar x**

Desain sensor yang digunakan menggunakan screen fluoroscopy dari kaset sinar x yang memiliki sifat akan berpendar (glowing) bila terkena sinar x. Hal ini dapat terjadi karena bahan ini mengandung bahan phospor yang akan berpendar apabila terkena sinar x).

Tabel 3.2. Spesifikasi screen sinar x

Bahan	Zinc Sulfida
Panjang Gelombang Maksimum	430 nm
Jenis	Fast screen
Sensitifitas	Blue
Warna Kristal	Kuning



Gambar 3.3 Skintilator sinar x yang digunakan pada sensor

Informasi sinyal perpendaran screen ini akan diteruskan pada photodetector di mana dalam tugas akhir ini menggunakan sel surya TRONY SC1453I sebanyak 1 satu buah. Alasan pemilihan sensor ini adalah karena superioritas sel surya yang dapat aktif tanpa membutuhkan suplai daya eksternal. Berbeda halnya dengan sensor optik lainnya, seperti photoresistive (seperti

LDR), photodiode, phototransistor, atau photo darlington yang memerlukan suplai daya eksternal.

Sel surya yang dipakai adalah sel surya yang memiliki lapisan pelindung (kaca transparan). Pada bagian permukaan pelindung ini ditemplei dengan screen menggunakan electrical tape. Desain sensor sinar x ini dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 3.4 Desain *photo x-ray luminescence sensor*.



Gambar 3.5 Bentuk fisik detektor yang digunakan.

3.4. Prosedur Eksperimen dan Perancangan

3.4.1. Prosedur Eksperimen

Prosedur Pengukuran Karakteristik Desain Sensor Radiasi Sinar X

Pengukuran karakteristik sensor radiasi sinar x dilakukan dengan prosedur sebagai berikut :

- Siapkan x ray mobile unit kemudian letakkan dosimeter dan dosimeter rados 50 secara berdampingan dengan jarak 150 cm dari tabung sinar x . Pastikan agar paparan mengenai keduanya secara sempurna dengan cara mengatur bukaan kolimator;
- x ray mobile unit ditembakkan pada Dosimeter Rados 50 dan sensor sinar x yang telah didesain *photo x-ray scintillation sensor* secara simultan;
- Mencatat setting tegangan kV pada x -ray mobile unit dan respon tegangan keluaran desain sensor laju dosis sinar x serta nilai laju dosis yang ditunjukkan oleh dosimeter RADOS 50 secara simultan.
- Pengukuran dilakukan sebanyak 9 setting yang berbeda
- Prosedur di atas dilakukan sebanyak 20 kali sehingga diperoleh total 360 data dari kedua dosimeter tersebut.

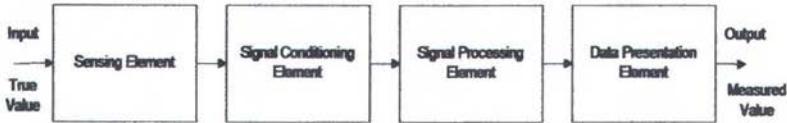
Prosedur Kalibrasi Desain Alat Ukur Dosimeter

Desain alat ukur dosimeter radiasi sinar x dikalibrasi dengan menggunakan prosedur sebagai berikut :

- Siapkan x ray mobile unit kemudian letakkan dosimeter dan dosimeter rados 50 secara berdampingan dengan jarak 150 cm dari tabung sinar x . Pastikan agar paparan mengenai keduanya secara sempurna dengan cara mengatur bukaan kolimator;
- X -ray mobile unit ditembakkan pada sensor laju dosis sinar x Dosimeter yang telah dirancang secara simultan.
- Keluaran Dosimeter yang telah dirancang dicatat secara simultan sebagai data komparatif terhadap RADOS 50.
- Kalibrasi dilakukan sebanyak 9 kali
- Prosedur diulang sebanyak 20 kali sehingga diperoleh 180 data.

3.4.2. Prosedur Perancangan Hardware

Perancangan sistem alat ukur disusun sesuai dengan struktur umum sistem pengukuran dengan diagram blok sebagai berikut :



Gambar 3.6 Struktur umum sistem pengukuran

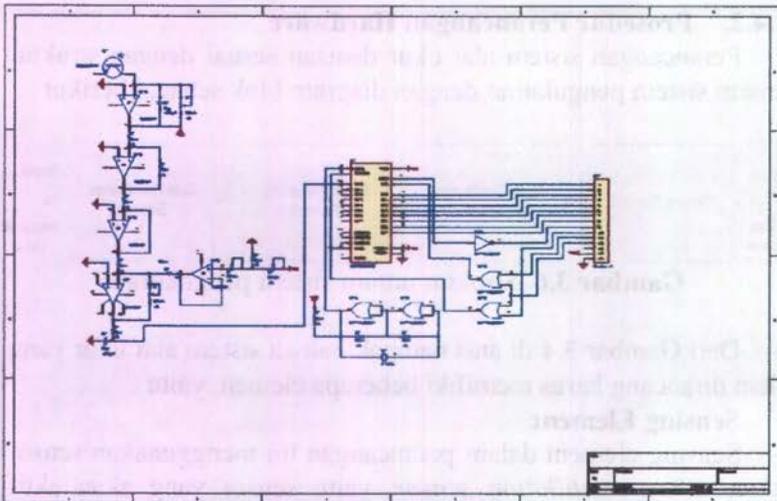
Dari Gambar 3.4 di atas nampak bahwa sistem alat ukur yang akan dirancang harus memiliki beberapa elemen, yaitu :

- **Sensing Element**

Sensing element dalam perancangan ini menggunakan sensor *photo x-ray scintillation sensor*, yaitu sensor yang akan aktif ketika terkena radiasi sinar x . Informasi mengenai korelasi dan *responsibility* terhadap radiasi sinar x sangat diperlukan dalam kaitannya untuk memanipulasi sinyal dengan besaran yang berbeda untuk direpresentasikan sehingga diperoleh *true value* sesuai dengan *measured value*.

- **Signal Conditioning Element**

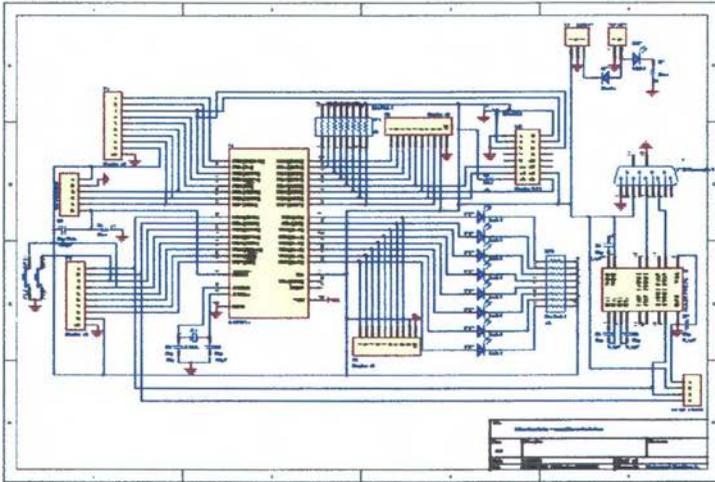
Informasi yang diperoleh dari *sensing element* pada umumnya tidak linear dan atau tidak *match* dengan spesifikasi sistem prosesor sinyal di belakangnya. Akibatnya ada sinyal yang *losses* karena tidak dapat direpresentasikan. Oleh karena itu perlu dilakukan pengkondisian sinyal sehingga informasi sinyal yang diukur dapat divisualisasikan secara utuh dan *valid*.



Gambar 3.7 Rangkaian Pengkondisian Sinyal

▪ Signal Processing Element

Sistem instrumen alat ukur yang akan dirancang diproses secara elektronik dengan keluaran display digital. Oleh karena itu, sinyal yang masih berbentuk sinyal analog perlu diproses sehingga menjadi sinyal digital. Perangkat yang berperan dalam bagian ini adalah *analog to digital converter*. Penggunaan komponen terintegrasi ADC 0804 dan mikrokontroler diharapkan mampu mengeliminir *size* atau dimensi alat yang akan dirancang. Dengan penggunaan mikrokontroler juga memudahkan dalam konversi tegangan ke laju dosis radiasi. Dalam *signal processing* ini juga melibatkan pemrosesan sinyal sehingga siap untuk divisualisasikan ke bagian display, dalam hal ini menggunakan LCD.



Gambar 3.8 Rangkaian Mikrokontroler

▪ **Data Presentation Element**

Bagian *data presentation element* ini adalah bagian paling akhir dari alat yang dirancang di mana dalam hal ini menggunakan LCD. Bagian ini harus mampu memvisualisasikan *true value* secara utuh atau dengan kata lain sistem blok sebelumnya harus dikondisikan dan diproses disesuaikan dengan range visualisator (jumlah digit).

▪ **Perancangan Sistem Mikrokontroler dan DAC**

Mikrokontroler yang digunakan pada sistem ini adalah AT89S51 dengan memanfaatkan beberapa port sebagai I/O nya. Berikut ini akan diberikan konfigurasi dari I/O mikrokontroler tiap bit yang ada pada masing-masing port yang terdapat pada mikrokontroler.

➤ **Port 0**

Port 0 ini dalam perancangan system digunakan untuk output data menuju LCD 2x16. 4 bit sebagai output data menuju DB4-DB7, sedangkan 2 bit lainnya menuju pin RS dan E dari LCD 2x16 menggunakan port 1.

➤ Port 3

Port 03 digunakan sebagai output data menuju ADC 0804 sebanyak 8 bit.

Sedangkan inisialisasi LCD untuk menuliskan karakter pada LCD dengan cara :

- pin R/W diberikan logic "0", sehingga operasi yang dilakukan adalah operasi write ke LCD.
- Pin E, untuk melakukan semua operasi LCD maka pin ini harus di toggle kan(dari logic "0" ke "1")
- Untuk pin RS dilakukan :
 - jika diberikan logic "0" untuk melakukan pengiriman instruksi pada LCD. Perintah ini biasanya digunakan untuk memesan lokasi pada LCD.
 - jika diberikan logic "1" untuk mengirimkan data pada LCD, yaitu memberikan data yang akan dituliskan pada LCD

3.4.3. Prosedur Perancangan Software

Perangkat lunak atau yang biasa disebut *software* ini dibuat dengan menyesuaikan bahasa pemrograman yang dapat diterima oleh mikrokontroler, yaitu bahasa *assembly*.

Untuk Software yang kita gunakan ini tidak perlu diinstal dan under dos (dos prompt), cukup mengarahkan pada drive (c: atau d:) dan folder yang menyimpan file dan software tersebut.

Untuk penulisan list programnya, bisa kita pakai notepad (windows) ataupun edit (pada dos).

Program yang sudah dibuat dengan menggunakan teks editor (*NotePad*) disimpan dengan nama tertentu yang diakhiri dengan ekstensi *.asm*.



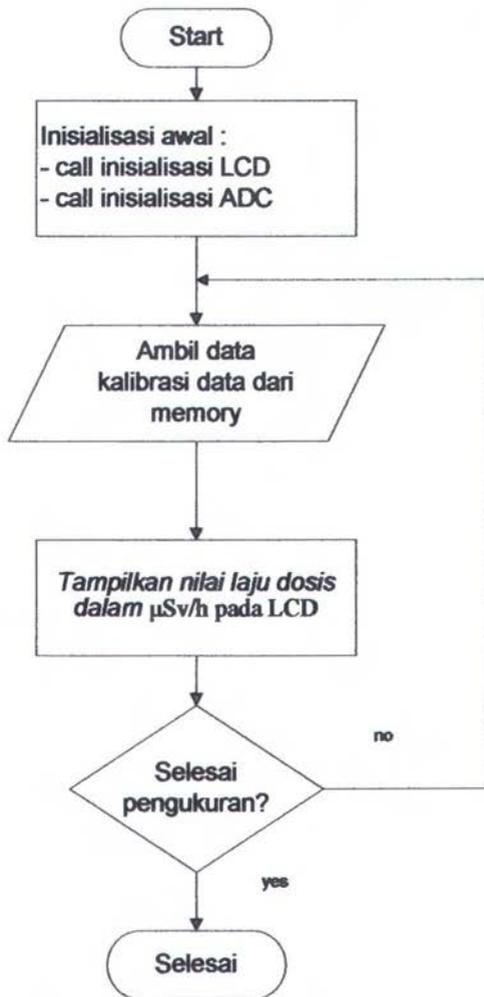
Gambar 3.9 Compile file asm ke obj

Mengkompilasi file program yang berekstensi **.asm* tersebut menggunakan kompilasi *ASM51.exe*. File yang sudah dikompilasi tersebut akan menghasilkan file baru (program objek) yang terdiri dari file dengan format hexa (ekstensi **.hex*) dan assembly listing (ekstensi **.lst*)



Gambar 3.10 Compile file obj ke hex

File dengan format hexa tersebut kemudian di transfer kedalam kode biner bahasa mesin dengan memakai program linker *HEXBIN.exe*, sehingga dihasilkan file baru dengan ekstensi **.bin*.



Gambar 3.13 Flow chart implementasi software

3.5 Metodologi Perancangan

Dalam proses perancangan dan penyusunan dari hasil-hasil eksperimen dan berbagai masukan data-data selama proses berlangsung menggunakan metodologi perancangan sebagai berikut :

- Desain perancangan penelitian dilakukan dalam format studi eksperimental.
- Melakukan verifikasi hardware yang didesain melalui proses kalibrasi sebagai *validity testing*.
- Data-data yang diperoleh dianalisa menggunakan analisa statistik diskriptif dan dijadikan sebagai referensi dalam perancangan.
- Kesimpulan diambil secara induktif dan deduktif dari data-data empiris yang diperoleh untuk mengetahui spesifikasi dan performansi instrumen yang dirancang. Sedangkan hasil analisa secara teoritis dan pengetahuan empiris yang diperoleh selama proses perancangan dapat dijadikan sebagai rekomendasi untuk penelitian dan perancangan selanjutnya.

3.6 Data

3.6.1. Sumber Data

Data yang didapat dari perancangan dan pembuatan dosimeter sinar x sebagai pengukur laju dosis radiasi sinar x dapat dikelompokkan menjadi dua bagian, yaitu:

- Data Primer
Data ini merupakan data yang diperoleh dengan melakukan pengukuran langsung pada alat yang dibuat.
- Data Sekunder
Data ini merupakan data yang diperoleh dari literatur yang berhubungan dengan materi yang dibahas dan juga data yang didapat dari spesifikasi komponen yang dipakai pada alat yang dibuat.

3.6.2. Jenis Data

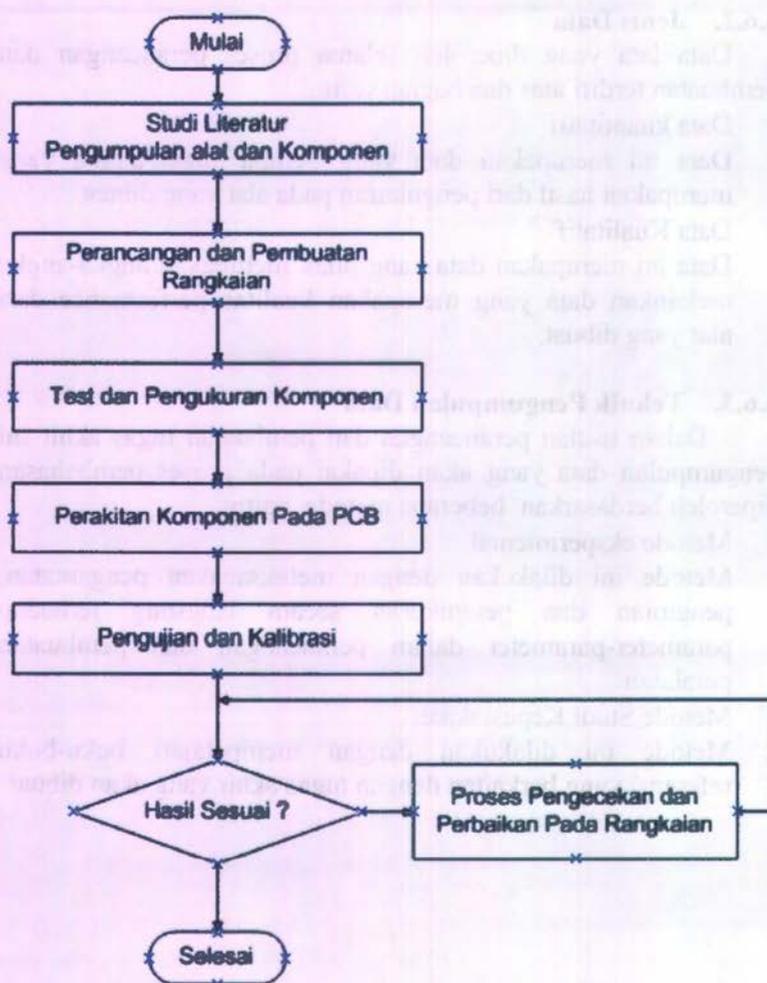
Data-data yang diperoleh selama proses perancangan dan pembuatan terdiri atas dua bagian yaitu:

- **Data kuantitatif**
Data ini merupakan data yang berupa angka-angka yang merupakan hasil dari pengukuran pada alat yang dibuat.
- **Data Kualitatif**
Data ini merupakan data yang tidak merupakan angka-angka melainkan data yang merupakan kualitas performance dari alat yang dibuat.

3.6.3. Teknik Pengumpulan Data

Dalam usulan perancangan dan pembuatan tugas akhir ini pengumpulan data yang akan dipakai pada proses pembahasan diperoleh berdasarkan beberapa metode, yaitu:

- **Metode eksperimental**
Metode ini dilakukan dengan melaksanakan pengamatan, pengujian dan pengukuran secara langsung terhadap parameter-parameter dalam perancangan dan pembuatan peralatan.
- **Metode Studi Kepustakaan**
Metode ini dilakukan dengan mempelajari buku-buku referensi yang berkaitan dengan tugas akhir yang akan dibuat.



Gambar 3.14 Metodologi Penelitian

BAB IV PEMBAHASAN DAN ANALISA

4.1. Dosimeter RADOS 50

Dalam perancangan dosimeter, RADOS 50 berfungsi sebagai alat ukur reference (kalibrator), dimana telah dilakukan pula pengambilan data dengan prosedur, setting dan pendataan yang sama dengan dosimeter yang dirancang.

Parameter setting yang digunakan adalah mAs dengan kV yang tetap (40kV), dengan kondisi temperatur ruangan yaitu pada temperatur 23 °C. Ada 9 setting dengan skala yang dibuat sesuai dengan panel kontrol pada OMNIX 60 mobile x ray. Masing-masing setting dilakukan pengambilan data sebanyak 20 kali. Sehingga didapat mean terendah 11 µSv/h pada 2 mAs dan tertinggi 448 µSv/h pada 20 mAs. Sedangkan standar deviasi terendah 4.22 µSv/h pada 2 mAs dan tertinggi 49.84 µSv/h pada 20 mAs seperti pada tabel 4.1.

Sehingga :

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2}$$

$$b = \frac{(9)(23297) - (80)(1770)}{(9)(998) - (80)^2}$$

$$b = 26.36$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x}$$

$$a = 197 - (26.36)(8.9)$$

$$a = -37.604$$

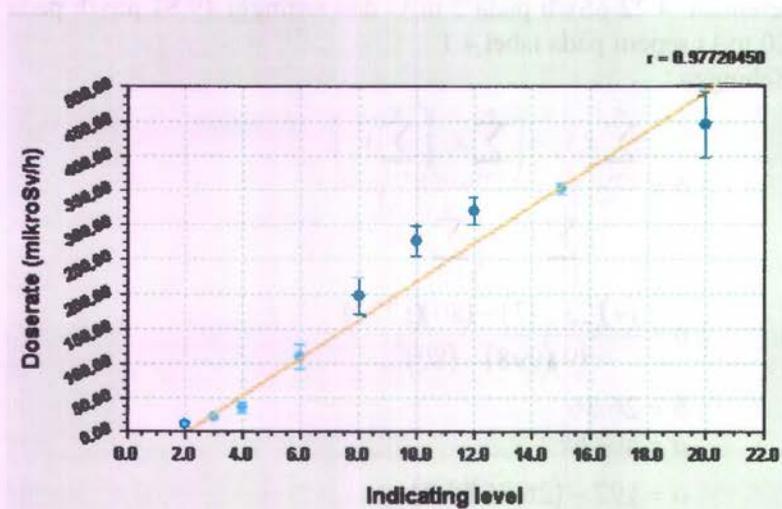
Dengan demikian garis regresinya adalah :

$$\hat{y} = a + bx$$

$$\hat{y} = (-37.604) + (26.36)x$$

Tabel 4.1 Distribusi RADOS 50 terhadap setting [Lampiran 1]

Indicating level <i>mAs</i>	Doserate $\mu\text{Sv/h}$	Standard Deviasi $\mu\text{Sv/h}$	Garis Regresi linier (\hat{y})
2	11	4.22	15.116
3	22	2.43	41.476
4	35	8.04	67.836
6	109	18.98	120.556
8	197	27.49	173.276
10	276	23.30	225.996
12	321	20.79	278.716
15	352	8.04	357.796
20	448	49.84	489.596



Gambar 4.1 Grafik distribusi RADOS 50 terhadap setting

Pada grafik diatas terlihat bahwa perubahan keluaran tegangan output sensor yang merupakan respon dari perubahan Laju dosis mempunyai grafik yang cukup linier terhadap perubahan laju dosis yang terjadi dengan koefisien korelasinya 0.9772.

4.2. Pengujian tanggapan sensor laju dosis radiasi sinar x

Dalam pengujian sensor laju dosis radiasi dilakukan pada kondisi temperatur ruangan yaitu pada temperatur 23 °C. Dengan menggunakan *x ray mobile unit* Trophy tipe OMNIX 60 sebagai penyedia radiasi sinar x. Didapat mean tegangan terendah 0.083 volt pada 2 mAs dan tertinggi 3.359 pada 20 mAs. Dengan standar deviasi terendah 0.018 volt pada 2 mAs dan tertinggi pada 0.37 volt pada 20 mAs.

Sehingga :

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2}$$

$$b = \frac{(9)(4170) - (1770)(13.278)}{(9)(555811) - (1770)^2}$$

$$b = 7.5 \times 10^{-3}$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x}$$

$$a = 1.475 - (7.5 \times 10^{-3})(197)$$

$$a = -2.75 \times 10^{-3}$$

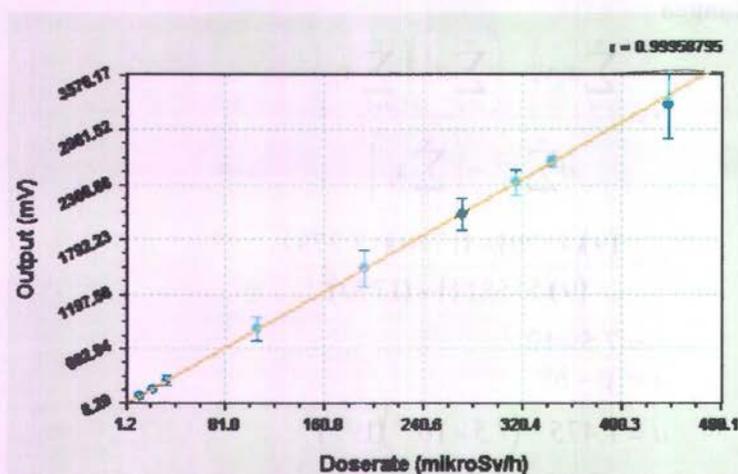
Dengan demikian garis regresinya adalah :

$$\hat{y} = a + bx$$

$$\hat{y} = (-2.5 \times 10^{-3}) + (7.5 \times 10^{-3})x$$

Tabel 4.2 Distribusi tegangan sensor terhadap doserate
[Lampiran 2]

Dosimeter $\mu\text{Sv/h}$	Output Volt	Standard Deviasi Volt	Regresi linier \hat{y}
11	8.3×10^{-2}	31.575×10^{-2}	0.08
22	16.2×10^{-2}	18.283×10^{-2}	0.16
35	25.9×10^{-2}	60.29×10^{-2}	0.26
109	82×10^{-2}	14.2669×10^{-2}	0.82
197	147.6×10^{-2}	20.6331×10^{-2}	1.47
276	206.8×10^{-2}	17.4616×10^{-2}	2.06
321	240.9×10^{-2}	15.619×10^{-2}	2.41
352	264.2×10^{-2}	6.0453×10^{-2}	2.64
448	335.9×10^{-2}	37.4084×10^{-2}	3.35



Gambar 4.2. Grafik tanggapan tegangan sensor terhadap kenaikan laju dosis.

Pada grafik diatas terlihat bahwa perubahan keluaran tegangan output sensor yang merupakan respon dari perubahan Laju dosis mempunyai grafik yang cukup linier terhadap perubahan laju dosis yang terjadi, dengan koefisien korelasinya 0.9995.

Pada pengujian dilakukan kenaikan setting mAs dari 2 – 20 mAs. Sinyal output keluaran dari sensor setelah melewati signal conditioning sebagai respon dari perubahan nilai laju dosis berupa tegangan DC pada range 0 – 5 V.

Dalam pengujian sensor laju dosis dilakukan dalam range pengujian Laju dosis 0 – 533 $\mu\text{Sv/h}$. Dalam pengujian tersebut didapatkan respon keluaran sensor terhadap perubahan laju dosis adalah berupa nilai perubahan tegangan. Untuk pengujian dalam range laju dosis tersebut diperoleh range keluaran respon tegangan sensor adalah dari 0 – 4 volt. Dengan program assembly, LSB (*Least Significant Bit*) dikalibrasi dengan rumus:

$$1 \text{ LSB} = \frac{533}{200} = 2.665 \mu\text{Sv/h}$$

LSB adalah bagian dari barisan data biner yang paling kecil, letaknya di posisi paling kanan bit. Doserate yang akan dicapai adalah 533 $\mu\text{Sv/h}$ dengan total step LSB yang digunakan 200. Jadi kalibrasi data ADC tiap 1 LSB = 2.665 $\mu\text{Sv/h}$. Karena mikrokontroler atau digital tidak bisa membaca angka dibelakang “koma”, maka dibaca 1 LSB = 2665. kemudian bilangan desimal dikonversi ke heksa menjadi 2665 = A69. untuk program kalibrasi mikrokontroler dapat dilihat pada lampiran 7.

4.3. Evaluasi Ketidakpastian Kalibrasi Dosimeter sinar x Nilai Rata – Rata

- Doserate RADOS 50
contoh untuk setting 40kV dengan 2mAs

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x \dots \dots}{x_n}$$

$$\bar{x} = \frac{8+21+11+13+5+9+10+14+6+12+7+10+15+7+18+17+10+12+8+9}{20}$$

$$\bar{x} = 11.1$$

$$PS = 11$$

- Doserate Dosimeter

contoh untuk setting 40kV dengan 2mAs

$$\bar{x} = \frac{9.5+17.98+10.9+14.89+7.47+12.76+14.47+18.64+\dots\dots\dots+7.7955}{20}$$

$$\bar{x} = 11.88$$

$$PA = 12$$

Dari data di atas dilakukan pengukuran berulang sebanyak 20 kali yang dijumlahkan dan di bagi banyaknya pengukuran sehingga didapatkan nilai rata-rata untuk tiap titik pengukuran. Sebagai contoh dapat dilihat pada perhitungan di atas. Dan hasil pengukuran rata-rata dapat dilihat pada *Lampiran 1 dan Lampiran 3*.

Koreksi

- Doserate Dosimeter

contoh untuk setting 40kV dengan 2mAs

$$K = PS - PA$$

$$K = 11 - 12$$

$$K = -1$$

Dimana :

K = Koreksi

PS = Pengukuran standar

PA = Pengukuran alat

Dari hasil perhitungan diatas didapat nilai koreksi, yang hasilnya dapat dilihat pada lampiran 3.

Standar Deviasi

- Doserate Dosimeter
contoh untuk setting 40kV dengan 2mAs

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

$$S(x_i) = \sqrt{\frac{(9 - 11.88)^2 + (18 - 11.88)^2 + (11 - 11.88)^2 + (15 - 11.88)^2 + \dots + (8 - 11.88)^2}{20 - 1}}$$

$$S(x_i) = 0.93$$

Dari hasil perhitungan di atas di dapat nilai standar deviasi, yang hasilnya dapat di lihat pada *Lampiran 4*. standar deviasi digunakan untuk memberikan perkiraan terhadap distribusi x .

ESDM (ketidakpastian type A)

Dari perhitungan di atas didapat nilai simpangan baku yang digunakan untuk memberikan perkiraan terhadap distribusi nilai x . Data hasil perhitungan untuk titik yang lain dapat di lihat pada *Lampiran 5*.

- Doserate Dosimeter
contoh untuk setting 40kV dengan 2mAs

$$ESDM = \frac{s(x_i)}{\sqrt{n}}$$

$$ESDM = \frac{0.93}{\sqrt{20}} = 0.21$$

Dari hasil perhitungan diatas didapat nilai ketidakpastian Type-A, yang di dapat dari *standar deviasi* dibagi akar dari nilai banyaknya pengukuran. Data hasil perhitungan untuk titik yang lain dapat di lihat pada *Lampiran 5*.

Sumber-sumber ketidak-pastian Type B

▪ Ketidakpastian Resolusi Dosimeter

Besar pernyataan dari kemampuan peralatan untuk membedakan arti dari dua tanda harga/skala yang paling berdekatan dari besaran yang ditunjukkan. Sehingga resolusinya adalah :

$$U_{B1} = \frac{1}{0.5\sqrt{3}} \\ = 0.29$$

▪ Ketidakpastian Sertifikat

Sesuai (Lampiran 12) Ketidakpastian sertifikat untuk dosimeter, adalah sebesar 4.3% sehingga

$$U_{B2} = \frac{0.043}{2} = 0.0215$$

Ketidakpastian Baku Gabungan

Contoh untuk setting 40kV dengan 2mAs

$$U_c^2(y) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial J}{\partial x_i} \right)^2 U^2(x_i)$$

$$U_c = \sqrt{U_A^2 + U_{B1}^2 + U_{B2}^2} \\ = \sqrt{0.209^2 + 0.29^2 + 0.0215^2} = 0.36$$

Ketidakpastian pengukuran atau ketidakpastian bentangan adalah perkalian ketidakpastian dengan factor k. Untuk tingkat kepercayaan 95% maka faktor k=2.

$$U_{exp} = k \times U_c \\ = 2 \times 0.036 \\ = 0.72$$

Hasil Kalibrasi

Nama Alat	: Dosimeter
Merk	: -
Tipe/noseri	: -
Temp. Ruangan	: 23 °C
Kelembapan	: 65 %RH

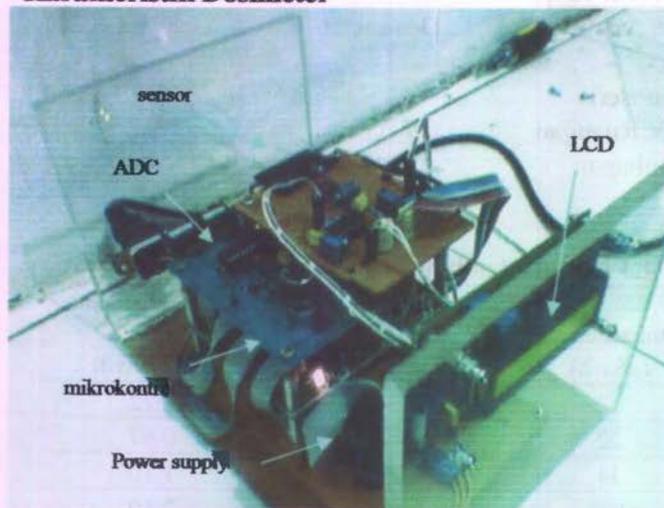
Tabel 4.3 Laporan kalibrasi

Pembacaan alat ($\mu\text{Sv/h}$)	Koreksi ($\mu\text{Sv/h}$)	Ketidakpastian Diperluas (+/-) $\mu\text{Sv/h}$
12	-1	0.72
22	-1	0.67
34	0	1.10
107	2	2.10
193	4	2.96
272	4	2.91
315	6	2.29
344	8	1.32
438	10	5.22

Catatan:

1. Alat ini dikalibrasi menggunakan dosimeter RADOS 50 yang tertelusur ke satuan SI
2. Ketidakpastian pengukuran pada tingkat kepercayaan 95% dengan faktor $k = 2$
3. Perhitungan ketidakpastian pengukuran mengacu ke ISO Guide to the expression of uncertainty in measurement

4.4. Karakteristik Dosimeter



Gambar 4.3. Dosimeter sinar x

Dari Pengukuran dan kalibrasi yang telah dilakukan, maka didapatkan data-data seperti berikut :

Nama alat	: Dosimeter sinar x
Merk	: -
Model/tipe	: -
No.Seri	: -
Dimensi (P/L/T)	: 25/17/18 cm
Suplai daya	: AC 220 volt/60 Hz, 1A
Kuantitas pengukuran	: Laju dosis dalam $\mu\text{Sv/h}$
Detektor	: Solar sel dengan skintilator
Jeda pengukuran	: ± 5 detik
Range	: 0 – 600 $\mu\text{Sv/h}$
Span	: 600 $\mu\text{Sv/h}$
Sensitifitas	:

Sensitivitas dari suatu alat ukur merupakan perbandingan antara perubahan sinyal output pada sensor dibagi dengan perubahan sinyal input.

$$\text{Sensitifitas} = \frac{\text{Sinyal output}}{\text{Sinyal input}}$$

Pada alat ukur dosimeter mempunyai nilai sensitivitas rata-rata sebesar $0.00749 \text{ V}/\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$. Artinya tiap perubahan $1 \mu\text{Sv}/\text{h}$ akan menyebabkan sinyal keluaran sensor yang berupa tegangan sebesar 0.00749 V .

Tabel 4.4 Sensitifitas SENSOR dosimeter [lampiran 1 dan 2]

Setting mAs	Sig. Input($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	Sinyal Output (V)	Sensitivitas ($\text{V}/\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$)
2	11	0.0829	0.00747
3	22	0.1622	0.00748
4	35	0.2589	0.00749
6	109	0.8198	0.0075
8	197	1.4763	0.0075
10	276	2.0678	0.0075
12	321	2.4090	0.0075
15	352	2.6424	0.0075
20	448	3.3586	0.0075
Rata - Rata			0.00749

Faktor kesalahan relatif :

$$KR = \frac{K}{PS} \times 100\%$$

Dimana :

- K = Nilai koreksi
- KR = Koreksi relatif
- PS = Pembacaan alat standard
- PA = Nilai setting alat

Tabel 4.5 Kesalahan relatif [lampiran 3]

Nilai Setting Alat		Terukur Rata-rata Standard $\mu\text{Sv/h}$	Nilai Koreksi $\mu\text{Sv/h}$	Koreksi Relatif (%)
kV	mAs			
40	2	11	-1	-7
40	3	22	-1	-2
40	4	35	0	1
40	6	109	2	2
40	8	197	4	2
40	10	276	4	1
40	12	321	6	2
40	15	352	8	2
40	20	448	10	2

Dari hasil perhitungan, kesalahan relatif terkecil didapat sebesar 1% pada setting 4 mAs dan koreksi tertinggi sebesar 7% pada setting 20 mAs. Dimana batas kesalahan relatif yang diizinkan oleh IAEA adalah < 15%.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari studi literature dan analisis data-data eksperimen kalibrasi dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

- 1 *Solarcell* dapat dipadukan dengan skintilator seng sulfida sebagai sensor radiasi sinar x namun dengan range (0 – 600 μSv).
- 2 Sensitifitas rata-rata dari dosimeter adalah $0.00749 \text{ V}/\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$, dan koreksi relatif terkecil didapat sebesar 1% pada setting 4 mAs dan koreksi tertinggi sebesar 7% pada setting 20 mAs. Dimana batas kesalahan relatif yang diizinkan oleh IAEA adalah $< 15\%$.
- 3 Berdasarkan hasil kalibrasi, diperoleh koreksi terendah sebesar $0 \mu\text{Sv}/\text{h}$ pada 4 mAs dan yang tertinggi sebesar $10 \mu\text{Sv}/\text{h}$. Selain itu diperoleh pula ketidakpastian diperluas, dimana nilai terendahnya sebesar $0.67 \mu\text{Sv}/\text{h}$ pada 4 mAs dan yang tertinggi sebesar $5.22\mu\text{Sv}/\text{h}$ pada 20 mAs. Hasil kalibrasi ini memiliki tingkat kepercayaan sebesar 95%.

5.2 Saran

1. Diharapkan dari tugas akhir ini dapat dikembangkan lagi dari segi detektor sehingga tidak hanya dapat mendeteksi radiasi sinar x namun juga radiasi sinar gamma.
2. Pengembangan dari tugas akhir ini nantinya diharapkan dapat meningkatkan range ukur dari dosimeter.

DAFTAR PUSTAKA

1. **Cember, Herman**, "Introduction to Health Physics", Pergamon Press Inc, 1983.
2. **Attix, Frank Herbert**, " Introduction to Radiological Physics and Radiation Dosimetry", John Wiley and Sons, 1986.
3. **Cherry, Simon R., Sorenson, James A., Phelps, Michael E.**, " Physics in Nuclear Medicine", Saunders, 2003.
4. "Safety Report no. 16", IAEA, 2000
5. "The expression of uncertainty in measurement" ISO GUM, 1995,
6. Diktat Pelatihan Petugas Proteksi Radiasi, BATAN, 2000
7. Buku Pedoman " Kalibrasi Kelistrikan", Jurusan Teknik Fisika, ITS, Surabaya, 2004.
8. **Walpole, Ronald E.**, " Pengantar statistika Edisi ke-3" PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 1995.

Lampiran 1

Tabel kV mAs terhadap Doserate RADOS 50

kV, mAs		Doserate (µSv/h)																				Rata-rata
kV	mAs	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
40	2	8	21	11	13	5	9	10	14	6	12	7	10	15	7	18	17	10	12	8	9	11
40	3	23	21	20	22	24	22	18	15	20	24	20	22	28	24	23	21	20	23	23	22	22
40	4	34	25	29	30	28	35	29	26	31	40	53	34	46	32	45	38	33	30	48	25	35
40	6	100	97	80	121	95	99	89	90	86	81	127	135	138	129	127	116	107	124	117	128	109
40	8	217	178	190	189	183	182	215	150	214	220	169	219	205	200	229	221	148	219	150	238	197
40	10	248	292	301	254	271	300	263	220	295	260	303	271	282	313	286	299	258	275	258	283	276
40	12	290	325	300	328	338	328	294	315	333	327	306	309	345	331	359	336	356	313	295	293	321
40	15	346	349	358	364	357	348	353	354	347	360	358	363	345	352	359	359	350	332	340	348	352
40	20	437	521	372	405	533	418	457	483	432	472	453	394	516	434	385	416	453	381	528	462	448

Nilai simpangan baku (standard deviasi) kV mAs terhadap Doserate 1 (Rados80)

Setting		Doserate (µSv/h)																				Jumlah	s(x)
kV	mAs	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
40	2	9.61	98.01	0.01	3.61	37.21	4.41	1.21	8.41	26.01	0.81	16.81	1.21	15.21	16.81	47.61	34.81	1.21	0.81	9.61	4.41	337.8	4.22
40	3	1.8225	0.4225	2.7225	0.1225	5.5225	0.123	13.32	44.223	2.723	5.523	2.7225	0.1225	18.923	5.5225	1.8225	0.4225	2.7225	1.8225	1.8225	0.1225	112.55	2.43
40	4	0.3025	91.202	30.803	20.703	42.903	0.203	30.8	73.102	12.6	29.7	340.4	0.3025	131.1	6.5025	109.2	11.9025	2.4025	20.7025	180.9	91.2025	1226.95	8.04
40	6	86.49	151.29	858.49	136.89	204.49	106.1	412.1	372.49	542.9	800.9	313.29	660.49	823.69	388.09	313.29	44.89	5.29	216.09	59.29	349.89	6846.2	18.98
40	8	408.04	353.44	46.24	60.84	190.44	219	331.2	2190.2	295.8	538.2	772.84	492.84	67.24	10.24	1036.8	585.64	2381.4	492.84	2190.2	1697.44	14361.2	27.49
40	10	761.76	268.96	645.16	466.56	21.16	595.4	158.8	3091.4	376.4	243.4	750.76	21.16	184.96	1398.8	108.16	547.56	309.76	0.36	309.76	54.76	10314.8	23.30
40	12	964.1	15.602	443.1	48.302	267.3	48.3	731.7	36.603	142.8	35.4	226.5	145.2	573.6	99.002	1440.2	223.503	1221.5	64.8025	678.6	786.8025	8212.95	20.79
40	15	37.21	9.61	34.81	141.61	24.01	16.81	0.81	3.61	26.01	62.41	34.81	118.81	50.41	0.01	47.61	47.61	4.41	404.01	146.41	16.81	1227.8	8.04
40	20	112.36	5387.6	5715.4	1814.8	7293.2	876.2	88.38	1253.2	243.4	595.4	29.16	2873	4678.6	184.96	3918.8	998.56	29.16	4435.56	6464.2	207.36	47196.8	49.84

Lampiran 2

Tabel kV, mAs terhadap tegangan DOSIMETER

Setting		Tegangan (V)																				Rata-rata
kV	mAs	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
40	2	0.06	0.157	0.08	0.097	0.0375	0.067	0.075	0.105	0.045	0.09	0.052	0.075	0.112	0.052	0.135	0.127	0.075	0.09	0.06	0.067	0.0829
40	3	0.172	0.157	0.15	0.165	0.18	0.165	0.135	0.112	0.15	0.18	0.15	0.165	0.195	0.18	0.172	0.157	0.15	0.172	0.172	0.165	0.1622
40	4	0.255	0.187	0.217	0.225	0.21	0.262	0.217	0.195	0.232	0.3	0.397	0.255	0.345	0.24	0.337	0.285	0.247	0.225	0.36	0.187	0.2589
40	6	0.75	0.727	0.8	0.908	0.712	0.742	0.667	0.675	0.645	0.607	0.953	1.013	1.0356	0.968	0.953	0.87	0.803	0.93	0.878	0.96	0.8198
40	8	1.625	1.335	1.425	1.418	1.373	1.365	1.613	1.125	1.606	1.651	1.268	1.643	1.536	1.5	1.718	1.658	1.11	1.643	1.125	1.786	1.4763
40	10	1.861	2.191	2.258	1.906	2.033	2.251	1.973	1.651	2.213	1.951	2.273	2.033	1.966	2.348	2.146	2.243	1.936	2.063	1.936	2.123	2.0678
40	12	2.176	2.439	2.251	2.461	2.536	2.461	2.206	2.363	2.499	2.454	2.296	2.318	2.589	2.484	2.694	2.522	2.671	2.348	2.213	2.198	2.4090
40	15	2.596	2.619	2.666	2.731	2.678	2.611	2.649	2.665	2.604	2.701	2.686	2.724	2.589	2.641	2.694	2.694	2.626	2.491	2.551	2.611	2.6424
40	20	3.279	3.909	2.791	3.039	4	3.136	3.429	3.624	3.242	3.542	3.399	2.956	3.872	3.257	2.869	3.121	3.369	2.859	3.962	3.467	3.3566

Nilai simpangan baku (standard deviasi) kV mAs terhadap tegangan DOSIMETER

Setting		Tegangan (mV)																				Jumlah	s(x)
kV	mAs	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
40	2	525.6	5487	9	198	2063	254	63	487	1438	50	956	63	845	956	2712	1943	63	50	526	254	1.69421E+04	31.57
40	3	96.0	27	149	8	317	8	740	2520	149	317	149	8	1076	317	96	27	149	96	96	8	6.35120E+03	18.28
40	4	15.2	5170	1756	1149	2391	10	1756	4083	724	1689	19072	15	7413	357	6100	681	142	1149	10221	5170	6.90618E+04	60.29
40	6	4876.2	8617	48325	7774	11627	6058	23357	20976	30566	45297	17734	37315	46557	21954	17734	2517	283	12137	3384	19648	3.86736E+05	142.67
40	8	22126.6	19952	2627	3393	10661	12377	18701	123377	16835	30538	43368	27806	3613	564	58443	33033	134139	27806	123377	95945	8.08878E+05	206.33
40	10	42745.6	15191	36195	26163	1208	33581	8978	173681	21098	13631	42128	1208	10353	78540	6123	30713	17358	23	17358	3053	5.79324E+05	174.62
40	12	54265.7	903	24948	2709	16142	2709	41189	2111	8109	2030	12758	8272	32418	5633	81254	12780	66670	3715	38396	44500	4.63511E+05	156.19
40	15	2148.3	545	1905	7859	1271	983	44	513	1471	3440	1905	6667	2846	2	2668	2668	267	22907	8345	983	6.94366E+04	60.45
40	20	6336.2	302940	322170	102144	411394	49551	4956	70437	13598	33636	1632	162067	263590	10323	220524	56454	1632	249900	364092	11751	2.65883E+06	374.06

Lampiran 3

Tabel Doserate DOSIMETER

Setting		Doserate ($\mu\text{Sv/h}$)																			Rata-rata	
kV	mAs	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
40	2	9	18	11	15	7	13	14	19	8	14	6	11	14	7	19	17	9	11	6	8	12
40	3	24	22	21	27	28	23	18	16	25	20	18	24	25	26	22	20	25	19	20	19	22
40	4	30	24	29	25	28	33	28	25	30	37	55	38	42	32	46	40	36	23	53	26	34
40	6	92	98	73	121	93	103	92	81	79	85	130	138	143	126	125	115	98	118	108	114	107
40	8	211	181	175	174	195	167	206	157	205	224	174	196	197	192	226	224	137	228	143	241	193
40	10	240	273	307	252	263	307	255	197	291	260	289	262	254	318	277	301	250	262	259	295	272
40	12	300	306	276	319	345	315	288	317	327	320	312	301	327	334	346	346	348	293	300	282	315
40	15	348	346	328	364	344	348	348	355	321	348	347	359	338	362	345	334	347	319	338	348	344
40	20	429	496	371	386	526	407	451	489	403	450	466	369	510	429	373	407	449	371	521	446	438

Tabel Simpangan (Deviasi) Doserate DOSIMETER

Setting		Doserate ($\mu\text{Sv/h}$)																			Rata-rata	s(x)	
kV	mAs	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
40	2	5.7	37.1	1.0	9.1	19.5	0.8	6.7	45.7	16.2	3.5	30.2	0.4	3.3	19.5	51.2	25.5	7.3	0.9	33.1	15.3	16.56	0.93
40	3	5.0	0.0	2.1	21.6	32.1	0.4	16.2	40.3	7.6	3.0	13.8	5.3	6.2	18.4	0.0	6.9	5.7	8.1	2.9	10.1	10.29	0.74
40	4	14.7	102.6	30.5	90.9	31.7	0.7	39.2	74.1	15.6	10.9	451.8	16.3	64.7	5.5	152.4	33.2	4.2	121.5	341.0	58.1	82.97	2.09
40	6	206.2	71.7	1117.0	189.6	178.0	11.1	206.8	641.9	752.7	494.1	558.8	1003.1	1280.1	356.7	332.6	63.7	69.5	136.4	2.1	56.7	386.44	4.51
40	8	312.5	151.8	311.8	347.8	5.2	645.5	176.6	1271.6	155.8	945.2	346.8	22.2	19.9	0.2	1127.3	977.3	3070.0	1259.8	2502.7	2322.2	798.61	6.48
40	10	1023.6	2.6	1269.7	371.3	73.9	1251.9	294.9	5575.4	384.2	132.5	308.5	86.4	316.7	2117.7	29.1	857.3	481.0	112.9	170.6	563.0	770.16	6.37
40	12	216.6	78.6	1561.2	11.6	900.2	0.2	838.1	3.9	150.5	27.8	13.0	187.6	150.6	357.0	960.2	959.4	1109.4	472.3	226.3	1075.3	464.99	4.95
40	15	15.6	1.5	264.7	384.2	0.0	11.2	13.2	104.4	540.6	3.6	9.8	212.2	35.1	300.4	1.3	97.3	8.4	623.8	38.2	13.4	133.94	2.66
40	20	77.5	3391.3	4480.1	2669.7	7833.2	908.3	192.7	2675.2	1200.4	163.2	801.9	4654.7	5233.6	67.3	4181.2	908.3	142.1	4418.4	6960.2	74.7	2552.70	11.59

Tabel Koreksi

Setting		Doserate ($\mu\text{Sv/h}$)																			Rata-rata	
kV	mAs	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
40	2	-1.5	3.0	0.1	-1.9	-2.5	-3.8	-4.5	-4.6	-1.9	-1.8	0.6	-1.3	1.3	-0.5	-1.0	0.1	0.8	0.6	1.9	1.0	-1
40	3	-1.4	-1.4	-0.7	-4.8	-3.9	-0.8	-0.2	-0.8	-5.0	3.5	1.5	-2.5	1.3	-2.5	0.8	1.4	-4.6	3.7	2.5	3.0	-1
40	4	3.7	1.0	0.4	5.4	-0.5	1.7	1.2	0.5	0.8	2.8	-2.4	-4.1	3.9	0.2	-1.5	-1.9	-3.1	6.9	-4.6	-1.5	0
40	6	7.6	-1.3	6.6	0.4	1.5	-4.5	-3.4	8.5	6.6	-3.6	-3.4	-3.5	-4.6	3.3	2.0	1.2	8.5	5.5	8.7	13.7	2
40	8	6.4	-2.6	14.8	14.8	-12.2	14.5	8.8	-7.2	8.6	-3.6	-5.3	21.4	7.6	7.5	2.5	-3.2	10.5	-9.4	7.1	-3.1	4
40	10	8.3	18.7	-6.4	1.5	7.9	-7.1	8.4	22.9	3.7	-0.2	13.7	8.5	8.1	-4.8	8.9	-2.0	7.7	-7.4	-0.7	-12.5	4
40	12	-10.5	18.7	24.3	9.4	-7.2	13.3	7.8	-2.1	5.5	6.5	-5.6	7.5	17.5	-3.1	12.8	-10.2	7.5	19.6	-5.1	10.6	6
40	15	-2.3	3.4	29.9	0.1	12.7	0.3	5.0	-0.6	25.9	13.8	10.5	4.1	6.6	-9.7	13.5	24.5	2.8	12.6	1.8	0.0	8
40	20	8.3	25.3	1.4	19.2	7.0	10.6	5.6	-6.2	29.1	21.7	-12.8	24.7	6.1	4.7	12.2	8.6	3.6	10.0	6.9	15.9	10

Lampiran 4

Simpangan baku

kV	mAs	s(xi)
40	2	0.93
40	3	0.74
40	4	2.09
40	6	4.51
40	8	6.48
40	10	6.37
40	12	4.95
40	15	2.66
40	20	11.59

ESDM

Setting		ESDM
kV	mAs	
40	2	0.21
40	3	0.16
40	4	0.47
40	6	1.01
40	8	1.45
40	10	1.42
40	12	1.11
40	15	0.59
40	20	2.59

Faktor Kesalahan Relatif

Setting		%
kV	mAs	
40	2	-7
40	3	-3
40	4	1
40	6	2
40	8	2
40	10	1
40	12	2
40	15	2
40	20	2



Lampiran 5

Ketidakpastian kombinasi

Setting		Ua	Ub1	Ub2	Ua2	Ub12	Ub22	Uc
kV	mAs							
2	2	0.209	0.29	0.0215	0.044	0.084	0.000	0.36
3	3	0.165	0.29	0.0215	0.027	0.084	0.000	0.33
4	4	0.467	0.29	0.0215	0.218	0.084	0.000	0.55
6	6	1.008	0.29	0.0215	1.017	0.084	0.000	1.05
8	8	1.450	0.29	0.0215	2.102	0.084	0.000	1.48
10	10	1.424	0.29	0.0215	2.027	0.084	0.000	1.45
12	12	1.106	0.29	0.0215	1.224	0.084	0.000	1.14
15	15	0.594	0.29	0.0215	0.352	0.084	0.000	0.66
20	20	2.592	0.29	0.0215	6.718	0.084	0.000	2.61

Lampiran 6
Ketidakpastian Bentangan

k	U_c	U_{exp}
2	0.36	0.72
2	0.33	0.67
2	0.55	1.10
2	1.05	2.10
2	1.48	2.96
2	1.45	2.91
2	1.14	2.29
2	0.66	1.32
2	2.61	5.22

Lampiran 7

Program Assembly Dosimeter

;
; Dosimeter3.ASM INI SUDAH BENAR UNTUK PERKALIAN 16 BIT X 16
BIT

;
; INPUT DIBAGI 2 X 2 BYTE HEKSADESIMAL
; OUTPUT DIBAGI MENJADI 4 BYTE HEKSADESIMAL
; CONVERTING HEX TO BCD
; R0 : ADDRESS BINARY SOURCE (LOWEST BYTE)
; R1 : ADDRESS BINARY RESULT (LOWEST BYTE)
; R2 : JUMLAH BYTE BILANGAN YANG AKAN Dikonversi
; R3 : JUMLAH BYTE HASIL KONVERSI (INPUT 32 BIT HEX = 5 BYTES
BCD)

; MISAL : FF369571H = 42 81 76 72 81

; HASIL DISIMPAN DI ALAMAT

; 35H : 1 BYTE TERENDAH

; 36H : 1 BYTE TERENDAH + 1

; 37H : 1 BYTE TERENDAH + 2

; 38H : 1 BYTE TERENDAH + 3

; 39H : 1 BYTE TERTINGGI

; SKALA => 0.0V = 0 uSv/h DAN 4 V = 533 uSv/h

; LCD

; P0.7 P0.6 P0.5 P0.4 P0.3 P0.2 P0.1 P0.0

; D7 D6 D5 D4 E RS X X

; RD = P3.2

; WR = P3.3

; INTR = P3.4

ORG 0H

SJMP START

FUNCSET EQU 00101000B ; PANJANG DATA 4 BIT

DISPCLR EQU 00000001B

ENTRIMOD EQU 0000110B

DISPON EQU 00001100B

NUM1L EQU 20H ; 1 BYTE BAWAH BIL 1

NUM1H EQU 21H ; 1 BYTE ATAS BIL 1

NUM2L EQU 22H ; 1 BYTE BAWAH BIL 2

NUM2H EQU 23H ; 1 BYTE ATAS BIL 2

OUT1 EQU 24H ; 1 BYTE PERTAMA HASIL

; PERKALIAN

OUT2 EQU 25H ; 1 BYTE KEDUA HASIL

; PERKALIAN

```

OUT3      EQU    26H    ; 1 BYTE KETIGA HASIL
OUT4      EQU    27H    ; PERKALIAN
           ; 1 BYTE KEEMPAT HASIL
           ; PERKALIAN

DATA_KEY  EQU    28H
DATA_LCD  EQU    29H
DATA_ADC  EQU    2AH
STATUS    EQU    2BH
; VARIABEL HASIL PERKALIAN DALAM BCD
SATU      EQU    60H    ; 1 BYTE PERTAMA
DUA       EQU    61H    ; DI ALAMAT 35H
TIGA      EQU    62H    ; 1 BYTE KEDUA
EMPAT     EQU    63H    ; DI ALAMAT 36H
LIMA      EQU    64H    ; 1 BYTE KETIGA
ENAM      EQU    65H    ; DI ALAMAT 37H
TUJUH     EQU    66H    ; 1 BYTE KEEMPAT
DELAPAN   EQU    67H    ; DI ALAMAT 38H
SEMBILAN  EQU    68H    ; 1 BYTE KELIMA
SEPULUH   EQU    69H    ; DI ALAMAT 39H
;-----
; PROGRAM UTAMA
;-----
START:
    ACALL INISIALISASI_LCD
    MOV   DPTR,#BARIS1
    ACALL PRINTSTRING1
    MOV   DPTR,#BARIS2
    ACALL PRINTSTRING2

MULAI:
    MOV   OUT1,#0
    MOV   OUT2,#0
    MOV   OUT3,#0
    MOV   OUT4,#0
    ACALL READ_ADC
    ACALL KALIBRASI      ; AMBIL DATA ADC YANG SUDAH
                        ; DIKALIBRASI (HEXA)
    ACALL BIN2BCD        ; DATA HEXA DIRUBAH KE BCD
    ACALL DISPLAY        ; DATA DITAMPILKAN
    SJMP  MULAI

;-----
; BATAS AKHIR PROGRAM UTAMA
;-----

```

;
; KALIBRASI DATA ADC 1 LSB = 2.665 uSv/h
;

KALIBRASI:

```
MOV    A,DATA_ADC      ; AMBIL 1 BYTE BAWAH
MOV    NUM1L,A
MOV    NUM1H,#0
MOV    NUM2L,#069H     ; KALIBRASI
                          ; ( 1 LSB = 2.665 uSv/h)
MOV    NUM2H,#0AH     ; 533 / 200 = 2.665
ACALL  MULTIPLY        ; 2665 = A69
; HASIL PERKALIAN DISIMPAN DI OUT4 OUT3 OUT2 OUT1
MOV    R0,#30H
MOV    R1,#35H
MOV    R2,#4
MOV    R3,#4
MOV    30H,OUT1        ; BYTE TERENDAH
MOV    31H,OUT2        ; BYTE TERENDAH + 1
MOV    32H,OUT3        ; BYTE TERENDAH + 2
MOV    33H,OUT4        ; BYTE TERTINGGI
RET
```

;
; DISPLAY HASIL KALIBRASI
;

DISPLAY:

```
MOV    A,_38H
MOV    B,#16
DIV    AB
MOV    DELAPAN,A
MOV    TUJUH,B
MOV    A,_37H
MOV    B,#16
DIV    AB
MOV    ENAM,A
MOV    LIMA,B
MOV    A,_36H
MOV    B,#16
DIV    AB
MOV    EMPAT,A
MOV    TIGA,B
MOV    A,_35H
MOV    B,#16
DIV    AB
```

MOV DUA,A
MOV SATU,B
MOV A,TUJUH
MOV A,ENAM
MOV A,LIMA
MOV A,EMPAT
MOV A,TIGA
MOV A,DUA
MOV A,SATU
MOV DATA_LCD,#0C3H
ACALL CONTROL_OUT
MOV A,ENAM
ADD A,#30H
MOV DATA_LCD,A
ACALL DATA_OUT
MOV DATA_LCD,#0C4H
ACALL CONTROL_OUT
MOV A,LIMA
ADD A,#30H
MOV DATA_LCD,A
ACALL DATA_OUT
MOV DATA_LCD,#0C5H
ACALL CONTROL_OUT
MOV A,EMPAT
ADD A,#30H
MOV DATA_LCD,A
ACALL DATA_OUT
MOV DATA_LCD,#0C6H
ACALL CONTROL_OUT
MOV A,#2EH
MOV DATA_LCD,A
ACALL DATA_OUT
MOV DATA_LCD,#0C7H
ACALL CONTROL_OUT
MOV A,TIGA
ADD A,#30H
MOV DATA_LCD,A
ACALL DATA_OUT
MOV DATA_LCD,#0C8H
ACALL CONTROL_OUT
MOV A,DUA
ADD A,#30H
MOV DATA_LCD,A

```
ACALL DATA_OUT
MOV DATA_LCD,#0C9H
ACALL CONTROL_OUT
MOV A,SATU
ADD A,#30H
MOV DATA_LCD,A
ACALL DATA_OUT
RET
```

; PROSEDUR PERKALIAN 16 BIT X 16 BIT

MULTIPLY:

FIRST:

```
MOV A,NUM1L
MOV B,NUM2L
MUL AB
ADD A,OUT1
MOV OUT1,A
MOV A,B
ADDC A,OUT2
MOV OUT2,A
MOV A,#0
ADDC A,OUT3
MOV OUT3,A
```

SECOND:

```
MOV A,NUM1H
MOV B,NUM2L
MUL AB
ADD A,OUT2
MOV OUT2,A
MOV A,B
ADDC A,OUT3
MOV OUT3,A
MOV A,#0
ADDC A,OUT4
MOV OUT4,A
```

THIRD:

```
MOV A,NUM1L
MOV B,NUM2H
MUL AB
ADD A,OUT2
MOV OUT2,A
MOV A,B
```

```

        ADDC      A,OUT3
        MOV       OUT3,A
        MOV       A,#0
        ADDC      A,OUT4
        MOV       OUT4,A
FOURTH:
        MOV       A,NUM1H
        MOV       B,NUM2H
        MUL       AB
        ADD       A,OUT3
        MOV       OUT3,A
        MOV       A,B
        ADDC      A,OUT4
        MOV       OUT4,A
        RET

```

```

;
;  PROSEDUR BINER TO BCD
;

```

```

BIN2BCD:
        CLR       C
        MOV       A,R2
        RLC      A
        RLC      A
        RLC      A
        MOV       R6,A
        MOV       A,R0
        MOV       R4,A
        MOV       A,R1
        MOV       R5,A
        MOV       A,R2
        MOV       R0,A
        CLR       A
CLRRES:
        MOV       @R1,A
        INC      R1
        DJNZ     R0,CLRRES
NEXTBIT:
        MOV       A,R4
        MOV       R0,A
        MOV       A,R2
        MOV       R1,A
        CLR       C

```

SRCSHIFT:

```
MOV     A,@R0
ADDC    A,@R0
MOV     @R0,A
INC     R0
DJNZ   R1,SRCSHIFT
MOV     A,R5
MOV     R0,A
MOV     A,R3
MOV     R1,A
```

RESSHIFT:

```
MOV     A,@R0
ADDC    A,@R0
DA      A
MOV     @R0,A
INC     R0
DJNZ   R1,RESSHIFT
DJNZ   R6,NEXTBIT
RET
```

; PROSEDUR PEMBACAAN DATA DARI ADC

; RD = P3.2
; WR = P3.3
; INTR = P3.4

READ_ADC:

```
SETB   P3.3
SETB   P3.2
ACALL  DELAY
CLR    P3.3
ACALL  DELAY
SETB   P3.3
ACALL  DELAY
JB     P3.4,$
CLR    P3.2
MOV    A,P2
MOV    DATA_ADC,A
SETB   P3.2
RET
```

;
; _____
; PEMESANAN TEMPAT DI LCD
; _____

; P0.7 P0.6 P0.5 P0.4 P0.3 P0.2 P0.1 P0.0

; D7 D6 D5 D4 E RS X X

CONTROL_OUT:

```
MOV STATUS,#0 ; RS = E =0
MOV P0,STATUS
ACALL DELAY_4MS
MOV STATUS,#8 ; E = 1, RS = 0
MOV P0,STATUS
ACALL DELAY_4MS
MOV STATUS,#8
MOV A,DATA_LCD
ANL A,#F0H ; AMBIL 4 BIT ATAS
ORL A,STATUS ; E HARUS TETAP 1
MOV P0,A ; OUT 4 BIT ATAS
ACALL DELAY_4MS
CLR P0.3
MOV STATUS,#8
MOV A,DATA_LCD
ANL A,#0FH ; AMBIL 4 BIT BAWAH
SWAP A ; TEMPATKAN DI 4 BIT ATAS
ORL A,STATUS ; E HARUS TETAP 1
MOV P0,A ; OUT 4 BIT BAWAH
ACALL DELAY_4MS
MOV STATUS,#0 ; RS = E =0
MOV P0,STATUS
ACALL DELAY_4MS
RET
```

;
; _____
; PENEMPATAN DATA DI LCD
; _____

; P0.7 P0.6 P0.5 P0.4 P0.3 P0.2 P0.1 P0.0

; D7 D6 D5 D4 E RS X X

DATA_OUT:

```
MOV STATUS,#4 ; RS = 1, E =0
MOV P0,STATUS
ACALL DELAY_4MS
MOV STATUS,#12 ; E = 1, RS = 1
MOV P0,STATUS
ACALL DELAY_4MS
```

```

MOV STATUS,#12
MOV A,DATA_LCD
ANL A,#F0H ; AMBIL 4 BIT ATAS
ORL A,STATUS ; E HARUS TETAP 1
MOV P0,A ; OUT 4 BIT ATAS
ACALL DELAY_4MS
CLR P0.3
MOV STATUS,#12
MOV A,DATA_LCD
ANL A,#0FH ; AMBIL 4 BIT BAWAH
SWAP A ; TEMPATKAN DI 4 BIT ATAS
ORL A,STATUS ; E HARUS TETAP 1
MOV P0,A ; OUT 4 BIT BAWAH
ACALL DELAY_4MS
MOV STATUS,#4 ; RS = 1, E = 0
MOV P0,STATUS
ACALL DELAY_4MS
RET

```

INIT_AWAL:

```

MOV STATUS,#0 ; RS = E = 0
MOV P0,STATUS
ACALL DELAY_4MS
MOV STATUS,#8 ; E = 1, RS = 0
MOV P0,STATUS
ACALL DELAY_4MS
MOV STATUS,#8
MOV A,#00100000B
MOV STATUS,#8
ORL A,STATUS ; E HARUS TETAP 1
MOV P0,A ; OUT 4 BIT ATAS
RET

```

;

; INISIALISASI LCD 4 BIT

;

INISIALISASI LCD:

```

ACALL DELAY_16MS ; TUNGGU 16 MS SAMPAI VDD
MENCAPAI 4.5V
ACALL INIT_AWAL
ACALL DELAY_4MS
MOV DATA_LCD,#00101000B ; FUNC SET
ACALL CONTROL_OUT
ACALL DELAY_4MS

```

```

MOV DATA_LCD,#00000001B ; DISP CLR
ACALL CONTROL_OUT
ACALL DELAY_4MS
MOV DATA_LCD,#00001110B ; DISP ON
ACALL CONTROL_OUT
ACALL DELAY_4MS
MOV DATA_LCD,#00000001B ; ENTRY MODE
ACALL CONTROL_OUT
ACALL DELAY_4MS
RET

```

```

;
; PROSEDUR DELAY LCD
;

```

```

DELAY.INIT.LCD:

```

```

MOV R6,#20H

```

```

DLY.LCD.LP:

```

```

MOV R7,#10H
DJNZ R7,$
DJNZ R6,DLY.LCD.LP
RET

```

```

;
; PROCEDURE LCD BARIS KOLOM LCD
;

```

```

POSISI2.1:

```

```

MOV A,#1

```

```

POSISI2:

```

```

ADD A,#11000000B ; BARIS KEDUA
DEC A
MOV DATA_LCD,A
ACALL CONTROL_OUT
ACALL DELAY.INIT.LCD
RET

```

```

POSISI1.1:

```

```

MOV A,#1

```

```

POSISI1:

```

```

ADD A,#10000000B ; BARIS PERTAMA
DEC A
MOV DATA_LCD,A
ACALL CONTROL_OUT
ACALL DELAY.INIT.LCD
RET

```

```

PRINTSTRING2:

```

```

ACALL POSISI2.1

```

```

        CLR    A
        MOVC  A,@A+DPTR
        JNZ   PRINTSTRINGLOOP
PRINTSTRINGLOOP:
        MOV   DATA_LCD,A
        ACALL DATA_OUT
        ACALL DELAY.INIT.LCD
        INC   DPTR
        CLR   A
        MOVC  A,@A+DPTR
        JNZ   PRINTSTRINGLOOP
        RET

```

```

PRINTSTRING1:
        ACALL POSISI1.1
        CLR   A
        MOVC  A,@A+DPTR
        JNZ   PRINTSTRINGLOOP2

```

```

PRINTSTRINGLOOP2:
        MOV   DATA_LCD,A
        LCALL DATA_OUT
        ACALL DELAY.INIT.LCD
        INC   DPTR
        CLR   A
        MOVC  A,@A+DPTR
        JNZ   PRINTSTRINGLOOP2
        RET

```

DELAY:

```

        MOV   R0,#0
U1:     MOV   R1,#0
U2:     MOV   R2,#0
U3:     INC   R2
        CJNE  R2,#20,U3
        INC   R1
        CJNE  R1,#20,U2
        INC   R0
        CJNE  R0,#20,U1
        RET

```

```

;-----
; DELAY 16 MILISEKON
;-----

```

```

DELAY_16MS:
        ACALL DELAY_4MS

```

```
ACALL DELAY_4MS
ACALL DELAY_4MS
ACALL DELAY_4MS
RET
```

```
;-----
; DELAY 4 MILISEKON
;
```

```
DELAY_4MS:
ACALL DELAY_2MS
ACALL DELAY_2MS
RET
```

```
;-----
; DELAY 2 MILISEKON
;
```

```
DELAY_2MS:
MOV R7,#200
```

```
LOOP1:
NOP
DJNZ R7,LOOP1
RET
```

```
;-----
; DELAY 100 MIKROSEKON
;
```

```
DELAY_100US:
MOV R7,#10
```

```
LOOP2:
NOP
NOP
NOP
NOP
NOP
NOP
NOP
NOP
```

```
NOB
NOB
DJNZ R7,LOOP2
RET
```

```
BARIS1:
DB ' M.RAMDHAN A ',0
BARIS2:
DB 'IN: uSv/h',0
```

LAMPIRAN 8



LABORATORIUM METROLOGI RADIASI
PUSAT TEKNOLOGI KESELAMATAN DAN METROLOGI RADIASI - BATAN
JL. CINERE PASAR JUMAT, KOTAK POS 7043 JKSKL JAKARTA 12070 INDONESIA
Telp. (021)-7513906 (Hunting), 7659511, Fax: (021)-7657950 email: ptkmr@batan.go.id

FORM-LMR-KAL-34

Rev.01-2003

Hal 02/3

LAMPIRAN SERTIFIKAT KALIBRASI DOSIMETER SAKU
NO. 2126/ S / PI 0302 / KMR / 2007
TANGGAL : 23 Nopember 2007

KONDISI KALIBRASI

Tekanan Udara : 1004 mbar
Suhu Udara : 23,0 °C
Kelembaban Udara : 65 %
Arah detektor : Tidak teras ke arah sumbu berkas radiasi
Medan Radiasi : Terkolimasi
Jarak sumber - detektor (SDD) : 150 cm
Laju dosis/kerma udara/paparan standar : 170,52 µR/h
(telah dinormalisasi ke tekanan dan suhu udara standar (1013 mBar, 20 °C))

HASIL KALIBRASI

Rentang / Skala	Faktor Kalibrasi	Ketidakpastian
mR	1,05	

- Nilai Faktor Kalibrasi tersebut di atas harus dikalikan dengan bacaan alat ukur radiasi
- Nilai Faktor Kalibrasi tersebut di atas memiliki ketidakpastian yang diperluas (expanded uncertainty) untuk tingkat kepercayaan 95 %

Manajer Kalibrasi

Dra. C. Tuti Budiantari
NIP. 330003333

Jakarta, 26 Nopember 2007

Manajer Jaminan Mutu
Laboratorium Metrologi Radiasi



[Signature]
Susetyo Trijoko, M.App.Sc.
NIP. 330002778