TUGAS AKHIR – SF 141501

ANALISIS NILAI FAKTOR KALIBRASI DAN NILAI *CALIBRATION AND MEASUREMENT CAPABILITY* (CMC) PADA DOSIMETER SAKU DAN SURVEIMETER GAMMA DI LABORATORIUM KALIBRASI ALAT UKUR RADIASI (KAUR) BALAI PENGAMANAN FASILITAS KESEHATAN (BPFK) SURABAYA

Kurnia Hastu Christianti
NRP 01111440000006

Dosen Pembimbing
Yanurita Dwi Hapsari, M.Sc

DEPARTEMEN FISIKA
Fakultas Ilmu Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018

TUGAS AKHIR – SF 141501

ANALISIS NILAI FAKTOR KALIBRASI DAN NILAI CALIBRATION AND MEASUREMENT CAPABILITY (CMC) PADA DOSIMETER SAKU DAN SURVEIMETER GAMMA DI LABORATORIUM KALIBRASI ALAT UKUR RADIASI (KAUR) BALAI PENGAMANAN FASILITAS KESEHATAN (BPFK) SURABAYA

Kurnia Hastu Christianti
NRP 01111440000006

Dosen Pembimbing
Yanurita Dwi Hapsari, M.Sc

DEPARTEMEN FISIKA
Fakultas Ilmu Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

FINAL PROJECT – SF 141501

ANALYSIS OF CALIBRATION FACTORS AND CALIBRATION MEASUREMENT CAPABILITY IN POCKET DOSIMETER AND GAMMA SURVEYMETER AT CALIBRATION LABORATORY OF MEASURING RADIATION INSTRUMENT (KAUR) BALAI PENGAMANAN FASILITAS KESEHATAN (BPFK) SURABAYA

Kurnia Hastu Christianti
NRP 01111440000006

Advisor
Yanurita Dwi Hapsari, M.Sc

Department of Physics
Faculty of Natural Science
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS NILAI FAKTOR KALIBRASI DAN NILAI CALIBRATION AND MEASUREMENT CAPABILITY (CMC) PADA DOSIMETER SAKU DAN SURVEIMETER GAMMA DI LABORATORIUM KALIBRASI ALAT UKUR RADIASI (KAUR) BALAI PENGAMANAN FASILITAS KESEHATAN (BPFK) SURABAYA

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Sains
pada
Bidang Studi Fisika Medis dan Biofisika
Program Studi S1 Departemen Fisika
Fakultas Ilmu Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh
Kurnia Hastu Christianti
01111440000006

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir

Yanurita Dwi Hapsari, M.Sc (.....)
NIP. 19600303 198701.1.002

Surabaya, 21 Juni 2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ANALISIS NILAI FAKTOR KALIBRASI DAN NILAI CALIBRATION AND MEASUREMENT CAPABILITY (CMC) PADA DOSIMETER SAKU DAN SURVEIMETER GAMMA DI LABORATORIUM KALIBRASI ALAT UKUR RADIASI (KAUR) BALAI PENGAMANAN FASILITAS KESEHATAN (BPFK) SURABAYA

Penulis : **Kurnia Hastu Christianti**
NRP : **01111440000014**
Departemen : **Fisika FIA ITS**
Dosen Pembimbing : **Yanurita Dwi Hapsari M.Sc**

Abstrak

Sesuai Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) No 1 Tahun 2006 pasal 10, dosimeter saku (analog atau digital) dan surveimeter gamma termasuk jenis alat ukur radiasi yang harus dikalibrasi setiap tahunnya. Kalibrasi dilakukan oleh suatu badan yang telah ditunjuk oleh BAPETEN, salah satunya adalah Balai Pengaman Fasilitas Kesehatan (BPFK) Surabaya khususnya Laboratorium Kalibrasi Alat Ukur Radiasi (KAUR). Badan tersebut harus mampu menunjukan tingkat kepercayaan terhadap data yang dikeluarkan melalui ketidakpastian menggunakan nilai faktor kalibrasi dan *Calibration and Measurement Capability* (CMC). CMC dari Laboratorium KAUR BPFK masih belum diberitahukan secara umum kepada konsumen. Pada penelitian ini dilakukan studi nilai faktor kalibrasi dan CMC terhadap 20 dosimeter saku analog, 20 dosimeter saku digital dan 10 surveimeter gamma. Metode Kalibrasi yang digunakan adalah metode substitusi dari sumber Cs-137. Dari penelitian 40 dosimeter saku yang diuji, 39 dosimeter memenuhi standard kalibrasi, 1 dosimeter lainya tidak layak digunakan karena nilai faktor kalibrasi melebihi standard yang telah ditetapkan. Dari 10 surveimeter gamma yang diuji semuanya memenuhi standard sehingga surveimeter masih layak dipakai. Nilai CMC dari dosimeter saku analog, dosimeter saku digital dosimeter berturut turut adalah 3,21% dan 2,64%. Sedangkan untuk surveimeter gamma untuk parameter satuan, puluhan dan ratusan ketidakpastiannya berturut-turut adalah 3,19%, 2,99% dan 2,76%.

Kata kunci : CMC, Kalibrasi, Dosimeter Saku, Surveimeter

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

ANALYSIS OF CALIBRATION FACTORS AND CALIBRATION MEASUREMENT CAPABILITY IN POCKET DOSIMETER AND GAMMA SURVEYMETER AT CALIBRATION LABORATORY OF MEASURING RADIATION INSTRUMENT (KAUR) BALAI PENGAMANAN FASILITAS KESEHATAN (BPFK) SURABAYA

Name : **Kurnia Hastu Christianti**
NRP : **01111440000006**
Departement : **Physics Faculty of Natural Science ITS**
Supervisior : **Yanurita Dwi Hapsari M.Sc**

Abstract

Under the Regulation of Nuclear Power Control Agency (BAPETEN) No. 1 of 2006 section 10, pocket dosimeters (analog or digital) and gamma survey meter are among radiation dosimeters measurements that should be calibrated regularly. Calibration is conducted by Balai Pengamanan Fasilitas Kesehatan (BPFK) Surabaya at Calibration Laboratory of Radiation Measurement Instrument (KAUR). The KAUR should be able to demonstrate a level of confidence in data released through uncertainty using the value of calibration factors and Calibration and Measurement Capability (CMC). CMC from the Laboratory KAUR BPFK is still not publicly informed to consumers. In this research we study calibration factor values and CMCs for 20 analog pocket dosimeters, 20 digital pocket dosimeters and 10 gamma survey meters. The calibration method used substitution method of Cs-137 source. From testing 40 pocket dosimeters, 39 dosimeters fulfill the appointed calibration standard, 1 dosimeter is not feasible to use because the calibration factor value exceeds the established standard. Of the 10 gamma survey meters, all fulfill the standards so the surveimeters are still feasible to use. The CMC values of the analog and digital pocket dosimeters are 3,21% and 2,64%, respectively. As with gamma survey meter for parameters of ones, tens and hundreds, the uncertainties are 3,19%, 2,99% and 2,76% respectively.

Keywords : Calibration, CMC, Pocket Dosimeter, Gamma Surveymeter

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, yang telah melimpahkan rahmat-Nya dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul **"Analisis Nilai Faktor Kalibrasi dan Nilai CMC pada Dosimeter Saku dan Surveimeter Gamma. Studi Kasus : Laboratorium Kalibrasi Alat Ukur Radiasi (KAUR) BPFK Surabaya"** dengan baik. Tugas Akhir (TA) ini penulis susun untuk memenuhi persyaratan menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) di Departemen Fisika, Fakultas Ilmu Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Atas bantuan, dorongan, dan juga bimbingan dari berbagai pihak, akhirnya penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan baik. Sehubungan dengan hal tersebut, maka penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada :

1. Kedua orangtua tercinta yang telah memberikan semua hal terbaik bagi penulis sejak kecil hingga sampai saat ini
2. Yanurita Dwi Hapsari M.Sc selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan motivasinya serta saran yang diberikan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Member Penghuni Terakhir (Lutfi, Irma, Maslahah, Otun, Mira, Firda) yang selalu memberikan dukungan dan motivasi serta tidak berhenti mengingatkan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini
4. Penghuni Laboratorium Fisika Medis dan Biofisika yang telah membantu dan memberikan semangat serta saran dalam penyelesaian tugas akhir ini.
5. Teman-teman ANTARES dan warga Fisika lainnya yang telah memberikan dukungan, doa, dan semangat kepada penulis
6. Semua pihak yang telah membantu, mendukung, dan mendoakan penulis yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari akan adanya kekurangan dalam penulisan laporan ini karena keterbatasan wawasan dan pengetahuan. Untuk itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak agar lebih baik di masa yang akan datang. Semoga laporan penelitian Tugas Akhir ini dapat berguna dan dimanfaatkan dengan baik sebagai referensi bagi yang membutuhkan serta menjadi sarana pengembangan kemampuan ilmiah bagi semua pihak yang bergerak dalam bidang Fisika

Surabaya, Juni 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
HALAMAN JUDUL iii
LEMBAR PENGESAHAN v
KATA PENGANTAR xi
DAFTAR ISI xiii
DAFTAR GAMBAR xv
DAFTAR TABEL xvii
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Perumusan Masalah 3
1.3 Tujuan Penelitian 3
1.4 Manfaat Penelitian 3
1.5 Batasan Masalah 4
1.6 Sistematika Penulisan 4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 5
2.1 Alat Ukur Radiasi 5
2.2 Dosimeter Saku 6
2.3 Surveimeter Gamma 9
2.5 Metode Kalibrasi 10
2.6 *Calibration and Measurement Capability* (CMC) 11
BAB III METODOLOGI 15
3.1 Alat dan Bahan 15
3.1.1 Alat dan Bahan Kalibrasi Dosimeter Saku 15
3.1.2 Alat dan Bahan Kalibrasi Surveimeter Gamma 15
3.2 Langkah Kerja 15
3.2.1 Pengukuran Dosis Acuan 15
3.2.2 Persiapan Ruang Penyinaran dan Irradiator 16

3.2.3 Kalibrasi Dosimeter Analog 16
3.2.4 Kalibrasi Dosimeter Digital 17
3.2.5 Kalibrasi Surveimeter Gamma 17
3.3 Analisa Data 17
3.3.1 Perhitungan Nilai Faktor Kalibrasi 17
3.3.2 Perhitungan Nilai CMC 17
3.4 Diagram Alir Penelitian 18
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN 19
4.1 Hasil dan Analisis Data 19
4.1.1 Hasil dan Analisa Data Kalibrasi dan CMC Dosimeter Saku 19
4.1.2 Hasil dan Analisis Data Kalibrasi dan Ketidakpastian Gabungan Surveimeter Gamma .. 23
4.1.3 Grafik Hasil Kalibrasi AUR 25
4.2 Pembahasan 27
BAB V KESIMPULAN 33
5.1 Kesimpulan 33
5.2 Saran 33
DAFTAR PUSTAKA 35
BIODATA 37

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Prinsip Kerja Dosimeter Saku (Alatas, 2009)..... 6
Gambar 2. 2 Dosimeter saku (a) analog, (b) digital 7
Gambar 2. 3 Daerah Tegangan dalam Detektor Isian Gas 8
Gambar 2. 4 Surveimeter Gamma (www.jradmeters.com) 10
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian……...18
Gambar 4. 1 Nilai Faktor Kalibrasi Dosimeter Analog……25
Gambar 4. 2 Nilai Faktor Kalibrasi Personal Dosimeter Digital..26
Gambar 4. 3 Nilai Faktor Kalibrasi Surveimeter Gamma 3 Parameter…….26

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Hasil Pengukuran pada Dosimeter Saku Analog 1.....19
Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Nilai Ketidakpastian Gabungan Dosimeter Saku Analog 1 20
Tabel 4.3 Nilai Faktor Kalibrasi dan Nilai ketidakpastian gabungan pada Dosimeter Saku Analog 21
Tabel 4. 4 Hasil Pengukuran pada Dosimeter Saku Digital 1 22
Tabel 4. 5 Nilai Faktor Kalibrasi dan ketidakpastian gabungan pada Personal Dosimeter Digital.....23
Tabel 4. 6 Hasil Pengukuran pada Surveimeter Gamma 1.....24
Tabel 4. 7 Nilai Faktor Kalibrasi dan Nilai ketidakpastian gabungan pada Surveimeter Gamma.....25

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pemanfaatan tenaga nuklir sebagai sumber energi terbarukan telah meluas ke berbagai bidang, misalnya di bidang kesehatan (untuk diagnosis, terapi, brakhiterapi dan kedokteran nuklir), di bidang riset (untuk pertanian, peternakan), di bidang industri (kontrol mutu produk) dan lain-lain. Sejalan dengan semakin banyaknya pemanfaatan tenaga nuklir, maka kebutuhan alat yang digunakan untuk penunjang keselamatan kerja dalam bidang tersebut juga harus dipenuhi serta perlu diawasi dalam penggunaannya.

Alat ukur radiasi (AUR) adalah alat yang menunjukkan nilai paparan, laju paparan, aktivitas, laju cacah, dosis atau laju dosis dalam medan radiasi. AUR sebagai salah satu alat proteksi terhadap para pekerja radiasi nuklir. AUR yang diperlukan untuk keperluan proteksi radiasi portabel maupun yang terpasang tetap. Perlengkapan AUR merupakan salah satu persyaratan proteksi yang harus dipenuhi untuk memperoleh perizinan dalam pemanfaatan sumber radiasi dari BAPETEN (BAPETEN, 2006) .

Balai Pengamanan Fasilitas Kesehatan (BPFK) Surabaya sebagai salah satu badan yang dipercaya oleh pemerintah sebagai badan yang mampu mengkalibrasi alat ukur radiasi (AUR). Kalibrasi dilakukan untuk memperoleh hasil yang sama dalam pengukuran radiasi antara alat dan kondisi sebenarnya dilingkungan, AUR harus dikalibrasi setiap tahun seperti yang disyaratkan pada Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) nomor 1 pada tahun 2006. Pengkalibrasian AUR dapat dilakukan pada institusi pemerintah (di BATAN dan di luar BATAN) yang telah tersertifikasi (BAPETEN, 2006).

Beberapa hal yang harus diperhatikan jika ingin mengkalibrasi AUR terhadap suatu institusi antara lain pemenuhan persyaratan teknis, persyaratan manajemen dan persyaratan proteksi. Salah satu persyaratan teknis yang harus dipenuhi yaitu diperlukannya alat ukur radiasi standard yang tepat untuk kegiatan kalibrasi.

Setiap pengukuran kalibrasi selalu dilengkapi dengan ketidakpastian pengukuran. Ketidakpastian pengukuran ini menunjukan nilai benar terhadap suatu pengukuran yang telah dilakukan. Selain itu nilai ketidakpastian yang tercantum juga dapat menunjukan berapa besar suatu laboratorium dapat dipercaya untuk melakukan kalibrasi. Ketidakpastian terbaik yang dimiliki oleh suatu laboratorium sering disebut sebagai *Calibration and Measurement Capability (CMC)*. Hasil kalibrasi dari BPFK Surabaya selalu dilengkapi dengan ketidakpastian saat pengukuran berlangsung. Tetapi nilai CMC dari laboratorium tersebut masih belum diberitahukan secara umum, sehingga konsumen belum mengetahui nilai CMC dari laboratorium KAUR.

Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Korean Research Institute of Standards and Science (KRISS) Daejeon tentang ketergantungan dosis serta tipe ketidakpastian pada 153 dosimeter personal diketahui bahwa rata-rata nilai faktor kalibrasi 1,208 (Kim dkk, 2014). Dengan mengetahui nilai ketidakpastian ini suatu laboratorium penguji akan memiliki tingkat kepercayaan yang akan digunakan sebagai dasar bahwa nilai yang mereka keluarkan sudah memenuhi standard yang sudah ada. Pada intinya dengan mengetahui ketidakpastian dapat menunjukkan seberapa besar suatu laboratorium dapat dipercaya untuk melakukan pengukuran alat. Suatu alat ukur radiasi dikatakan baik apabila memiliki nilai faktor kalibrasi 1 ± 0.2. Apabila alat tersebut memilik faktor kalibrasi yang melebihi batas yang sudah ditentukan, alat tersebut perlu dipertimbangkan pemakaiannya (Kim dkk, 2014).

Seperti yang telah disinggung sebelumnya kualitas suatu laboratorium kalibrasi AUR seringkali dinyatakan dengan *Calibration and Measurement Capability* (CMC) dimana CMC harus menggambarkan kalibrasi dan kemampuan kalibrasi yang dinyatakan dalam ketidakpastian dan memiliki batas ketidakpastian yang terkait. Karena CMC digambarkan sebagai ketidakpastian semakin kecil nilai CMC dari suatu alat yang diukur semakin bagus nilai CMC tersebut. Dalam penelitian ini akan dilakukan studi untuk mencari faktor kalibrasi serta CMC pada

laboratorium KAUR BPFK Surabaya dan mencari faktor kalibrasi dengan membandingkan hasil pengukuran alat tersebut dengan hasil dari alat ukur standard dan nilai CMC ditentukan dengan menghitung ketidakpastian bentangan saat pengukuran.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan dapat diidentifikasi masalah-masalah yang timbul berupa rumusan masalah, yaitu sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh faktor kalibrasi terhadap kualitas dosimeter saku dan surveimeter gamma ?
2. Berapa nilai CMC laboratorium KAUR BPFK Surabaya untuk dosimeter saku dan surveimeter gamma?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini sesuai dengan permasalahan yang telah dirumuskan meliputi :

1. Mencari dan memahami pengaruh faktor kalibrasi terhadap kualitas dosimeter saku dan surveimeter gamma.
2. Mencari dan memahami cara menentukan nilai CMC laboratorium KAUR BPFK Surabaya untuk dosimeter saku dan surveimeter gamma.

1.4 Manfaat Penelitian

Kegiatan penelitian tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat secara umum kepada Perguruan Tinggi ITS, khususnya Departemen Fisika FIA ITS, instansi yang bersangkutan yaitu Balai Pengamanan Fasilitas Kesehatan (BPFK) Surabaya dan juga mahasiswa yang bersangkutan selaku pelaksana dari penelitian tugas akhir ini.

1. Sebagai tambahan referensi khususnya mengenai perkembangan teknologi industri yang memanfaatkan radiasi nuklir untuk pihak-pihak yang memerlukan.
2. Hasil yang didapat selama penelitian tugas akhir dapat menjadi referensi keadaan laboratorium KAUR dan bahan

masukan bagi instansi untuk menentukan kebijakan penggunaan atau pemeliharaan terhadap instrument terkait.

3. Dapat mengetahui secara langsung atau lebih spesifik bagaimana cara pengambilan data untuk faktor kalibrasi terhadap personal dosimeter.
4. Dapat mengidentifikasi potensi kekurangan pada instrumen sehingga dapat mengasah kepekaan peneliti melihat masalah di lingkungan dan nantinya dapat digunakan sebagai masukan pihak Instanti demi menjaga mutu pelayanan.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini adalah :

1. Penelitian dilakukan pada untuk dosimeter saku (analog dan digital) dan surveimeter gamma dengan sumber Cs-137.
2. Faktor kalibrasi dan nilai CMC dari dosimeter saku dan surveimeter gamma.
3. Metode yang digunakan untuk menentukan faktor kalibrasi adalah substitusi.

1.6 Sistematika Penulisan

Pada penulisan Tugas Akhir ini terdiri dari abstrak yang menggambarkan tentang gambaran umum dari penelitian ini. Bab I yang berisikan tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian dan sistematika penulisan. Bab II berisikan tentang tinjauan pustaka yang berkaitan dengan dasar teori sebagai acuan dari penelitian. Bab III berisikan tentang metodologi. Bab IV berisikan tentang hasil penelitian dan pembahasannya dan Bab V berisikan tentang kesimpulan dan saran.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Alat Ukur Radiasi

Ketidakstabilan inti atom akan menyebabkan inti atom mengalami peluruhan sehingga inti atom akan stabil. Saat mengalami peluruhan inilah inti atom akan memancarkan radiasi. Radiasi sendiri dibedakan menjadi radiasi pengion dan radiasi non pengion. Radiasi pengion adalah radiasi yang mampu mengionisasi bahan yang dilaluinya. Sedangkan radiasi non pengion merupakan radiasi yang tidak mampu mengionisasi bahan yang dilaluinya (Krane, 1988).

Radiasi merupakan perambatan energi dari suatu sumber energi ke lingkungannya tanpa memerlukan medium. Radiasi nuklir sendiri memiliki ciri antara lain radiasi tidak dapat dirasakan secara langsung dan radiasi dapat menembus berbagai jenis material atau bahan. Dalam pengukuran radiasi terdapat tiga besaran yang diukur yaitu kuantitas, energi, dan dosis radiasi. Kuantitas radiasi didefinisikan sebagai jumlah radiasi per satuan waktu per satuan luas pada suatu titik pengukuran. Energi radiasi merupakan besar kecilnya kekuatan dari setiap radiasi yang dipancarkan oleh sumber radiasi. Dosis radiasi adalah jumlah energi radiasi yang diserap atau diterima oleh materi (Alatas, 2009).

Alat ukur radiasi dalam perannya sebagai proteksi radiasi dapat memberikan informasi dosis radiasi seperti paparan dalam roentgen, dosis serap dalam rad atau gray dan dosis ekivalen dalam rem atau sievert. Alat ukur proteksi radiasi dibedakan menjadi tiga yaitu kelompok dosimeter personal, surveimeter dan monitor kontaminasi. Dosimeter personal dibagi menjadi 3 yaitu dosimeter saku (*pocket /pen dosemeter*), film badge, dan TLD (*Thermoluminisence Dosimeter*). Dosimeter personal ini biasanya digunakan untuk mengukur jumlah dosis radiasi yang mengenai pekerja radiasi. Surveimeter digunakan untuk mengukur besarnya radisi di lingkungan atau suatu lokasi secara langsung sedang

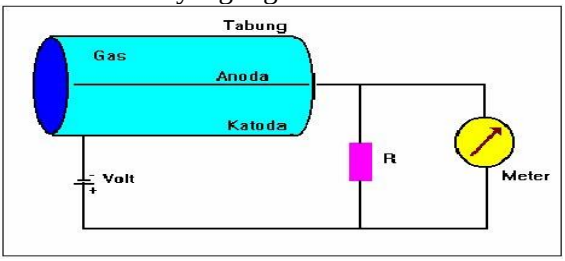
monitor kontaminasi digunakan untuk mengukur tingkat kontaminasi pada pekerja, alat maupun lingkungan (Akadi, 2000).

2.2 Dosimeter Saku

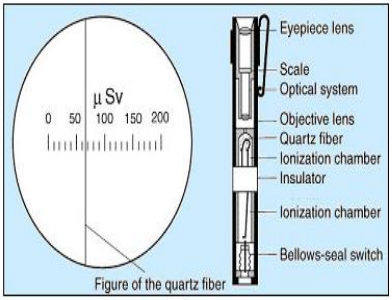
Dosimeter saku banyak digunakan sebagai salah satu alat proteksi radiasi personal karena dapat dibaca secara langsung dan tidak memerlukan alat yang lain. Dosimeter yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis dosimeter saku analog dan digital. Perbedaannya hanya terletak pada resolusi yang dimiliki.

Pada dosimeter saku detektor yang digunakan merupakan detektor isian gas dengan jenis detektor kamar ionisasi (detektor isian gas yang bekerja pada daerah kamar ionisasi). Detektor isian gas ini terdiri dari dua elektroda positif yang disebut anoda dan elektroda negatif yang disebut katoda. Detektor yang berbentuk silinder ini sumbunya berfungsi sebagai anoda dan dindingnya berfungsi sebagai katoda. Anoda akan dihubungkan pada kutub listrik positif dan katoda pada kutup negatif.

Prinsip kerja dari dosimeter saku digambarkan pada Gambar 2.1. Ketika suatu radiasi mengenai suatu detektor akan mengionisasi gas-gas yang terdapat pada detektor sehingga menimbulkan ion-ion yang sebanding dengan energi radiasi tersebut. Ion-ion yang dihasilkan akan menuju elektroda yang bersesuaian hal ini disebabkan oleh beda tegangan yang diberikan antara kedua elektroda. Ion-ion ini akan menimbulkan pulsa listrik yang akan menggerakan jarum pada dosimeter sehingga besarnya radiasi dapat diketahui (Alatas, 2009). Gambar 2.2 menunjukan contoh dosimeter saku yang digunakan.



Gambar 2. 1 Prinsip Kerja Dosimeter Saku (Alatas, 2009)



(a) (b)

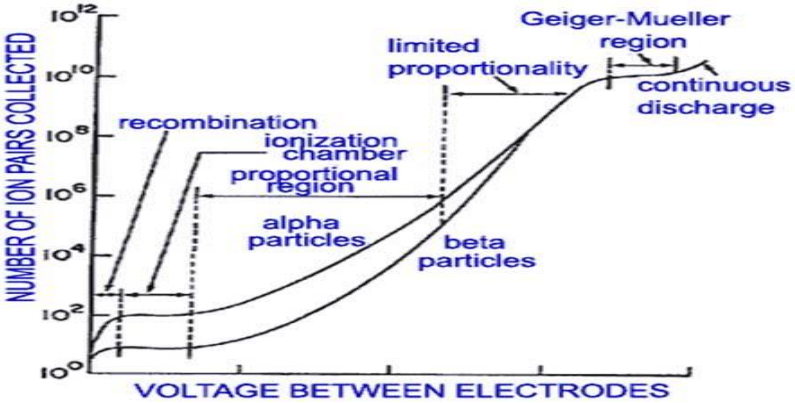
Gambar 2. 2 Dosimeter saku (a) analog (www.euronuclear.org), (b) digital (envirokorea.co.kr)

Detektor isian gas terdiri dari detektor kamar ionisasi, proporsional dan detektor Geiger Mueller yang bekerja pada daerahnya masing-masing eeperti pada Gambar 2.3. Jika tegangan pada rangkaian detektor rendah, tidak semua ion-ion yang dihasilkan dapat dikumpulkan oleh elektroda. Elektron akan mengalami rekombinasi dan bergabung dengan ion positif dan akan membentuk atom netral. Seharusnya dalam sistem deteksi, jumlah muatan yang dihasilkan karena radiasi yang masuk dalam detektor tidak tergantung terhadap tegangan. Sehingga menunjukkan terjadinya kejenuhan yaitu dicapainya suatu tegangan tanpa ada muatan yang terkumpul hilang.

Pada Gambar 2.3 daerah rekomendasi terjadi karena tegangan yang dihasilkan belum cukup besar sehingga elektron tidak dapat menuju anoda sehingga tidak terjadi perbedaan tegangan dan tidak terjadi arus yang mengalir dalam rangkaian. Bila terjadi perbedaan potensial jumlah elektron dan ion positif yang mengalir ke elektroda akan sebanding dengan jumlah pasangan ion yang dihasilkan oleh proses ionisasi dan tidak terjadi rekombinasi. Jumlah ion yang terbentuk ini sebanding dengan radiasi yang memasuki detektor. Hal ini terjadi jika beda potensial lebih dari daerah kamar ionisasi. Detektor kamar ionisasi ini dapat digunakan untuk mendeteksi sinar gamma yang berenergi rendah.

Detektor isian gas jenis ini biasanya juga digunakan untuk dosimeter saku (Setiawan, 2010).

Apabila suatu elektron primer (elektron yang dihasilkan oleh radiasi) mempunyai laju yang cukup tinggi, elektron akan menumbuk molekul-molekul gas yang dilewatinya sehingga akan terjadi pelipatgandaan pasangan ion atau muatan. Hal ini terjadi ketika tegangan lebih besar dari tegangan kamar ionisasi. Sehingga pada anoda tidak hanya mengumpulkan elektron primer tetapi juga elektron sekunder. Pada daerah proporsional ini terdapat suatu faktor yang besarnya tetap. Arus yang dikumpulkan sebanding dengan cacahan elektron primer yang sebanding dengan energi radiasi yang datang. Seperti yang telah disebutkan sebelumnya elektron primer dapat mengionisasi molekul-molekul gas yang yang dilewatinya sehingga dapat menghasilkan elektron-elektron sekunder, tersier dan seterusnya. Hal ini disebut *avalance* dan terjadi pada daerah kerja Geiger Muller. Pulsa yang dihasilkan pada daerah ini memiliki amplitude yang sangat tinggi sehingga tidak memerlukan penguat (Setiawan, 2010).



Gambar 2. 3 Daerah Tegangan dalam Detektor Isian Gas (http://www.vmcli.com/)

2.3 Surveimeter Gamma

Surveimeter Gamma merupakan salah satu jenis surveimeter yang paling sering digunakan. Surveimeter gamma biasanya menggunakan detektor Geiger Muller, sintilasi, dan detektor isian gas proporsional. Untuk detektor Geiger Muller, detektor ini tidak membutuhkan penguat karena pulsa yang dihasilkan sangat tinggi, sehingga tidak dapat membedakan jenis radiasi yang datang. Detektor isian gas proporsional tidak membutuhkan penguat seperti detektor isian gas jenis ionisasi yang digunakan pada kebanyakan dosimeter saku. Pada detektor ini memiliki kepekaan yang lebih tinggi daripada detektor isian ionisasi (Setiawan, 2010). Pada detektor sintilasi digunakan bahan sintilator yang dapat menghasilkan percikan cahaya jika dikenai radiasi. Selain itu juga terdapat tabung *photomultiplier* yang berfungsi sebagai pengubah percikan cahaya yang dihasilkan oleh bahan sintilator sebagai pulsa listrik (BATAN, 2016).

Semua surveimeter biasanya digunakan untuk mendeteksi radiasi di lingkungan. Selain surveimeter gamma ada beberapa jenis surveimeter yang ada sekarang ini yaitu surveimeter beta-gamma, surveimeter alpha, survemeter multi guna, surveimeter neutron. Pada dasarnya saat suatu detektor pada surveimeter dikenai radiasi, banyaknya intensitas yang mengenai detektor pada surveimeter ini nanti akan ditampilkan dalam skala dosis (contoh : mR/jam). Cara pengukuran pada surveimeter ini disebut *current mode* atau cara arus. Surveimeter Gamma dengan detektor isian gas prinsipnya tidak jauh beda dengan detektor isian gas yang terdapat pada dosimeter saku.

Sebelum menggunakan surveimeter hal yang perlu dilakukan antara lain adalah memeriksa baterai, sertifikat kalibrasi dan mengetahi pengoperasian serta pembacaan surveimeter, hal ini perlu dilakukan mengingat surveimeter merupakan salah satu alat ukur radiasi langsung untuk suatu tempat, jadi kondisi pengguna maupun alatnya harus baik (Alatas, 2009).

Gambar 2. 4 Surveimeter Gamma (www.jradmeters.com)

2.5 Metode Kalibrasi

Kalibrasi adalah suatu kegiatan membandingkan hasil bacaan pada alat yang dikalibrasi dengan alat standard. Pada kalibrasi alat ukur radiasi, alat dikalibrasi dengan cara menyinari alat tersebut dengan suatu sumber radiasi standard. Kalibrasi dilakukan untuk menguji ketepatan nilai yang ditampilkan alat terhadap nilai sebenarnya. Perbedaan nilai antara yang ditampilkan dan yang sebenarnya harus dikoreksi dengan suatu parameter yang disebut sebagai faktor kalibrasi (F_K). Secara ideal, faktor kalibrasi ini bernilai satu, akan tetapi pada kenyataannya tidak banyak alat ukur yang mempunyai faktor kalibrasi sama dengan satu. Nilai yang masih dapat 'diterima' berkisar antara 0,8 sampai dengan 1,2. Faktor Kalibrasi dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$F_K = \frac{D_S}{D_U} \quad \text{.....(2.1)}$$

dimana D_S adalah nilai dosis sebenarnya, sedangkan D_U adalah nilai yang ditampilkan alat ukur (Kim dkk, 2014).

Pada kalibrasi alat ukur radiasi ada beberapa metode yang digunakan salah satunya adalah metode substitusi. Pada metode substitusi titik acuan pada setiap ruang diletakkan pada setiap titik pengukuran. (“Alat Ukur Proteksi Radiasi,” 2016). Dosis paparan

yang mengenai alat ukur radiasi (Ds) ditentukan berdasarkan laju peluruhan (Kim dkk, 2014).

2.6 *Calibration and Measurement Capability* (CMC)

Menurut *International Bureau of Weights and Measure* dan *International Laboratory Accreditation Cooperation* (ILAC) CMC merupakan kemampuan pengukuran kalibrasi yang tersedia bagi pelanggan. CMC sendiri merupakan ketidakpastian terbaik yang dicapai dalam layanan kalibrasi rutin terhadap alat terbaik yang dimiliki pelanggan dengan sumber daya laboratorium. Untuk menentukan CMC, pengukuran atau kalibrasi harus dilakukan sesuai metode atau prosedur terdokumentasi dan memiliki ketidakpastian yang sangat kecil (dalam jangkauan tertentu). CMC harus tersedia bagi semua pelanggan.

Setiap hasil pengukuran akan mempunyai ketidakpastian yang akan memberikan karakteristik sebaran hasil pengukuran. Ketidakpastian sendiri dinyatakan dalam nilai angka dengan tingkat kepercayaan dan distribusi tertentu. Ketidakpastian tipe-A adalah ketidakpastian yang dievaluasi dengan teknik statistik. Komponen dari ketidakpastian ini merupakan ukuran ripitabilitas dari suatu hasil dengan kondisi konstan. Semua ketidakpastian yang bukan merupakan ketidakpastian tipe-A merupakan ketidakpastian tipe-B. Ketidakpastian tipe-B tetap kostan selama pengukuran dan muncul dari berbagai sumber dan distribusi probabilitasnya bervariasi. Nilai-nilai dari ketidakpastian tipe B sudah ditentukan oleh badan eksternal seperti untuk sertifikat yang dinyatakan oleh badan akreditasi (Nazaroh, 2011).

Nilai CMC sendiri merupakan ketidakpastian gabugan dengan faktor cakupan k=2 dengan tingkat kepercayaan 95% yang diasumsikan ketidakpastian tipe-A didasarkan pada observasi yang besar sehingga distribusinya normal. Apabila pengukuran dilakukan kurang dari 10 kali maka faktor cakupan k=2 akan lebih kecil. Untuk angka efektif pada derajat kebebasan diberikan rumus

$$V_{eff=\frac{U_C^4(y)}{\sum U_i^4(y)/V_i}} \quad \text{.....2.2}$$

dimana V_i derajat kebebasan untk komponen ketidakpastian ke-i (Nazaroh, 2010).

Rumus untuk mencari ketidakpastian yang terjadi selama proses kalibrasi menurut Nazaroh (Nazaroh, 2011).

a. Untuk n kali pengukuran bacaan rata-rata dari alat ukur dapat dihitung dengan

$$\bar{X} = \frac{\Sigma X_i}{n} \quad \text{.....2.3}$$

Nilai rata-rata dari deviasi standard dapat dihitung dengan rumus

$$S(X_i) = \sqrt{\sum_i^n \frac{(X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad \text{.....2.4}$$

Simpangan baku rata-rata

$$S(\bar{X}_\iota) = \frac{S(X_i)}{\sqrt{n}} \quad \text{.....2.5}$$

b. Ketidakpastian tipe A

$$UA = \left\{\frac{S(\bar{X}_i)}{\bar{X}}\right\} \quad \text{.....2.6}$$

Derajat kebebasan ditentukan dengan

$$vA = n - 1 \quad \text{.....2.7}$$

Distribusi normal, dan koefisien sensitivitas

$$cA = 1 \quad \text{.....2.8}$$

c. Ketidakpastian resolusi dosimeter saku

$$U_{res} = \frac{\frac{skalaterkecil}{2}}{\bar{X}} \times 100\% \quad \text{.....2.9}$$

Derajat kebebasan, res =30, U_{res} dapat ditentukan dengan rumus dibawah ini dengan distribusi *rectangular*

$$U_{res} = \frac{U_{res}}{\sqrt{3}} \quad \text{.....2.10}$$

dengan koefisien sensitivitasnya

$$C_{res} = 1 \quad \text{.....2.11}$$

d. Ketidakpastian laju dosis radiasi yang ditentukan dari pengukuran sumber radiasi, dengan koefisien sensitfitas $C_x = 1$.

e. Ketidakpastian waktu paruh juga ditentukan dari sertifikat. Untuk distribusi *rectangular* ketidakpastian waktu parohnya adalah

$$U_{1/2} = \frac{U_{1/2}}{\sqrt{3}} \quad \text{.....2.12}$$

dengan koefisien sensitivitasnya

$$C_{1/2} = 1 \quad \text{.....2.13}$$

f. Ketidakpastian jarak sumber ke detektor

$$U_d = \frac{0.6mm}{jarak\ kalibrasi} \times 100\% \quad \text{.....2.14}$$

Derajat ketidakpastian

$$V_d = 30 \quad \text{.....2.15}$$

Nilai U_d untuk distribusi normal adalah

$$U_d = \frac{U_d}{2} \quad \text{.....2.16}$$

Koefisien sensitivitasnya adalah

$$C_d = 1 \quad \text{.....2.17}$$

g. Ketidakpastian waktu

$$U_{timer} = \frac{skala\ terkecil}{lama\ penyinran} \times 100\% \quad \text{.....2.18}$$

Derajat kebebasan

$$V_{timer} = 30 \quad \text{.....2.19}$$

Nilai U_{timer} untuk distribusi *rectangular* dapat dicari dengan

$$U_{timer} = \frac{U_{timer}}{\sqrt{3}} \quad \text{.....2.20}$$

Koefisien sensitifitasnya adalah

$$C_{timer} = 1 \quad \text{.....2.21}$$

h. Ketidakpastian tekanan

$$U_{pr} = \frac{1\ mm/Hg}{tekanan\ saat\ kalibrasi} \times 100\% \quad \text{.....2.22}$$

Derajat kebebasan

$V_{pr} = 30$……...……2.23

Nilai U_{pr} untuk distribusi normal dapat dicari dengan

$U_{pr} = \frac{U_{pr}}{2}$……2.24

Koefisien sensitivitasnya

$C_{pr} = 1$……2.25

i. Ketidakpastian temperatur

$U_T = \frac{0.4}{temperatur\ saat\ kalibrasi} \times 100\%$…..,……2.26

Derajat kebebasan

$V_T = 30$……2.27

Nilai ketidakpastian temperature untuk distribusi normal adalah

$U_T = \frac{U_T}{2}$……..……...2.28

Untuk distribusi normal koefisien sensitivitas

$C_T = 1$……...2.29

j. Ketidakpastian standard gabungan dapat dicari dengan

$u_c(y) = \sqrt{u^2} = \sqrt{\sum(c_x u_x)^2}$…..…..…2.30

BAB III
METODOLOGI

3.1 Alat dan Bahan

3.1.1 Alat dan Bahan Kalibrasi Dosimeter Saku

Alat yang dibutuhkan untuk kalibrasi dosimeter saku analog dan dosimeter saku digital adalah 20 dosimeter saku analog dan 20 dosimeter saku digital yang akan dikalibrasi, *Charge* personal dosimeter analog, sumber radiasi *Cesium-137*, alat ukur standardt (PTW Unidos T10022/SN 453), laser, penggaris dinding, 2 buah CCTV, termometer, higrometer, dan satu set meja kalibrasi.

3.1.2 Alat dan Bahan Kalibrasi Surveimeter Gamma

Alat dan bahan yang digunakan untuk kalibrasi Surveimeter Gamma adalah Sumber Radiasi Cesium-137, alat ukur standard (PTW Unidos T10022/SN 453), absorber 1/10, absorber 1/100, absorber 1/1000, 10 surveimeter Gamma, obeng, gabus penahan, laser, penggaris dinding, 2 Buah CCTV, thermometer, hygrometer dan satu set meja kalibrasi.

3.2 Langkah Kerja

3.2.1 Pengukuran Dosis Acuan

Sebelum memulai kalibrasi salah satu hal yang perlu diketahui adalah besarnya dosis acuan dari sumber Cs-137 yang digunakan. Dalam menentukan dosis acuan, terlebih dahulu dilakukan cek stabilitas pada sumber Cs-137 sehingga akan memberikan dosis yang terpercaya. Alat dikatakan stabil jika memiliki standard deviasi $\leq 1\%$. Nilai ini ditetapkan oleh Kepala Instalasi Kalibrasi Alat Ukur Radiasi pada Balai Pengamanan Fasilitas Kesehatan (BPFK). Kemudian setelah dikatakan stabil lalu dilakukan pengukuran dosis acuan dengan sumber Cesium 137 dalam jarak tertentu dan dilakukan pengukuran juga dengan tanpa absorber, absorber 1/10, 1/100, dan 1/1000. Waktu pengukuran

yang digunakan yaitu selama 300 dt. Pengukuran dilakukan sebanyak 5 kali dan dicatat hasil keluarannya. Dari hasil pengukuran dapat laju dosis kerma udara dan laju dosis tara ambient, laju dosis tara perorangan dan laju paparan. Untuk pengukuran dosis acuan sendiri digunakan data yang sudah ada di BPFK Surabaya. Pada surveimeter dan dosimeter digital dosis acuan berupa laju dosis radiasi. Sedangkan untuk dosimeter analog digunakan besar dosis. Karena dosis acuan berupa laju maka dalam kalibrasi dosimeter digital waktu penyinaran ditentukan dengan rumus dibawah ini

$$waktu\ penyinaran = \frac{dosis\ yang\ dikehendaki}{laju\ dosis} \quad \text{.....3.1}$$

3.2.2 Persiapan Ruang Penyinaran dan Irradiator

Dalam tahap ini sebelum memulai kalibrasi ruang yang akan digunakan harus disiapkan terlebih dahulu termometer, higrometer, laser, cctv dan satu meja kalibrasi. Semua hal-hal tersebut harus dipastikan dalam keadaan baik dan siap digunakan. Selain itu Irradiator dari ruang pengamatan juga harus dinyalakan untuk proses persiapan. Proses ini memakan waktu sekitar 15 menit.

3.2.3 Kalibrasi Dosimeter Analog

Pada kalibrasi dosimeter analog, dosimeter diletakkan pada meja kalibrasi dengan jarak yang telah ditentukan dari sumber Cs-137. Sebelum diletakkan di meja kalibrasi dosimeter analog harus diberi sumber daya terlebih dahulu untuk menunjukkan skala yang menunjuk pada angka nol. Digunakan laser untuk mengetahui posisi yang tepat pada detektor detektor dosimeter analog agar tegak lurus dengan titik tengah sumber radiasi. Setelah semuanya siap, dilakukan penyinaran terhadap dosimeter analog dari ruang kontrol selama waktu yang telah ditentukan. Hasil pengukuran yang didapat dicatat dan dilakukan pengukuran selama 5 kali. Suhu dan kelembapan udara juga dicatat untuk setiap pengukuran pen dosimeter.

3.2.4 Kalibrasi Dosimeter Digital

Dosimeter saku digital diletakkan pada meja kalibrasi dengan jarak yang telah ditentukan dari sumber Cs-137. Selanjutnya posisi dosimeter saku digital dipastikan dengan laser dan dilakukan penyinaran pada dosimeter saku digital dengan laju dosis yang telah ditentukan. Pengukuran dilakukan selama 5 kali. Suhu dan kelembapan udara dicatat untuk setiap pengukuran dosimeter saku digital.

3.2.5 Kalibrasi Surveimeter Gamma

Pada kalibrasi Surveimeter gamma memiliki rentang ukur yang berbeda-beda. Sehingga masing-masing rentang ukur tersebut harus dikalibrasi sesuai dengan rentangnya. Pemilihan rentang ukur dilakukan agar bacaan pada surveimeter tersebut tidak melebihi dari skala yang ada *(overload)*. Surveimeter Gamma yang akan dikalibrasi diletakkan pada meja kalibrasi dengan jarak yang telah ditentukan dari sumber radiasi yaitu Cs-137. Selanjutnya dipastikan posisi dari surveimeter dengan laser dan dilakukan pengukuran untuk semua rentang yang dimiliki oleh surveimeter Gamma.

3.3 Analisa Data

3.3.1 Perhitungan Nilai Faktor Kalibrasi

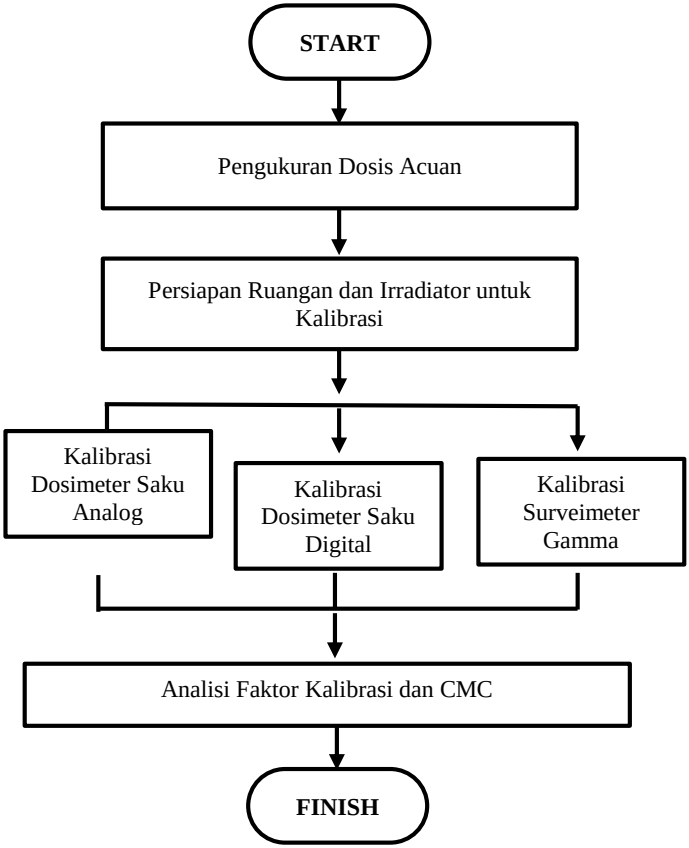
Dari data yang telah diperoleh baik untuk dosimeter analog, dosimeter digital dan surveimeter gamma selanjutnya dilakukan perhitungan nilai faktor kalibrasi pada masing-masing alat yang telah disinari. Nilai faktor kalibrasi dapat dicari dengan menggunakan persamaan 2.1 pada bab 2.

3.3.2 Perhitungan Nilai CMC

Setelah perhitungan nilai faktor kalibrasi kemudian ditentukan nilai CMC dari masing-masing alat yang dikalibrasi dengan menggunakan persamaan 2.6 pada Bab 2.

3.4 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir dari penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

BAB IV
ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil dan Analisis Data

4.1.1 Hasil dan Analisa Data Kalibrasi dan CMC Dosimeter Saku

Berikut adalah data yang telah didapatkan saat kalibrasi dosimeter analog 1 (Tabel 4.1). Pengambilan data untuk pengukuran nilai kalibrasi dan CMC pada dosimeter analog 1 jarak yang digunakan adalah 200 cm dengan laju dosis yang digunakan adalah 888,426 mR/jam. Pada pengukuran ini diketahui bahwa background (BG) radiasinya adalah 0. Pengulangan pengambilan data dilakukan sebanyak 5 kali. Dari pengukuran yang telah dilakukan diketahui tekanan udara = 1011,9 hPa, suhu udara = 20,7 °C dan kelembaban udara = 69,4 %. Dosimeter saku yang digunakan memiliki resolusi terkecil 2 mR. Berikut adalah hasil pengukuran kalibrasi yang telah dilakukan

Tabel 4. 1 Hasil Pengukuran pada Dosimeter Saku Analog 1

No	Dosis Acuan (mR)	Dosis Terukur (mR)
1	50	48
2		48
3		48
4		48
5		48
Rata-rata		48
Standard Deviasi		0,00
Nilai Faktor Kalibrasi		1,04

Untuk menentukan nilai ketidakpastian gabungan maka diperlukan ketidakpastian peluruhan laju paparan tanpa absorber pada jarak 200 cm, dimana data nilai ketidakpastian laju paparan sudah diketahui yaitu sebesar ± 2,90 %. Dengan menggunakan persamaan yang sudah dijelaskan pada bab 2.4 maka nilai ketidakpastian gabungan dapat ditentukan dengan melakukan perhitungan seperti pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Hasil Perhitungan Nilai Ketidakpastian Bentangan Dosimeter Analog 1

KTDP	Distr	Tipe	U (%)	K	Ui (%)	ci	Uici	$(uici)^2$ (%)
Upr	N	B	2,90	2,00	1,450	1	1,450	2,103
UA	N	A	0,00	1,00	0,000	1	0,000	0,000
Ures	Rect	B	2,08	1,73	1,204	1	1,204	1,450
Up	N	B	0,01	2,00	0,004	1	0,004	0,000
Ud	N	B	0,02	2,00	0,008	1	0,008	0,000
UT	N	B	0,58	2,00	0,290	1	0,290	0,084
UT1/2	N	B	0,27	2,00	0,13	1	0,133	0,018
Utimer	Rect	B	0,41	1,73	0,24	1	0,237	0,056
Sums								3,71
Ketidakpastian standard gabungan, uc, (%)								1,93
Derajat kebebasan efektif								120,08
Faktor cakupan, k untuk veff dan CL 95%								1,98
Ketidakpastian bentangan, U = k . uc, (%)								3,81

Dengan menggunakan cara yang sama maka didapatkan nilai faktor kalibrasi dan ketidakpastian gabungan pada 20 dosimeter saku analog yang telah diukur (Tabel 4.3).

Tabel 4. 3 Nilai Faktor Kalibrasi dan Nilai ketidakpastian bentangan pada Dosimeter Analog

Dosimeter Analog	Nilai Faktor Kalibrasi	Nilai ketidakpastian bentangan ± (%)
1	1,04	3,81
2	1,04	3,81
3	1,04	3,81
4	1,11	3,21
5	1,25	4,67
6	1,04	3,81
7	1,02	4,33
8	1,03	4,16
9	1	6,44
10	1,04	7,25
11	1,11	4,17
12	1	6,55
13	1	6,55
14	1,04	8,65
15	1	6,43
16	1	6,43
17	1	3,93
18	1,05	4,05
19	1,03	4,80
20	1,11	4,18
Rata-rata	1,04	5,05
Standard Deviasi	0,06	1,50

Pada kalibrasi personal dosimeter digital pengambilan data juga dilakukan sebanyak 5 kali. Berikut adalah data yang didapatkan pada personal dosimeter digital 1 dengan background radiasi sebesar 0,283 µSv/h saat kalibrasi. Dosis terbaca merupakan dosis yang terbaca pada alat sedangkan untuk dosis terukur merupakan hasil dari dosis terbaca-dosis terukur. Saat pengukuran digunakan absorber 1/100 dengan ketidakpastian laju

paparan pada jarak 200 cm adalah ± 2,90%. Tekanan udara saat pengukuran adalah 1008,7 hPa, suhu udara = 21 °C, kelembaban udara = 56,9 % dan alat memiliki resolusi = 0,001 µSv/h. Sehingga nilai kalibrasi dan ketidakpastian gabungan dapat diketahui seperti pada Tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Hasil Pengukuran pada Dosimeter Digital 1

No	Dosis Acuan (µSv/h)	Dosis Terbaca µSv/h	Dosis Terukur (µSv/h)
1	97,376	96,77	96,487
2		96,89	96,607
3		96,78	96,497
4		96,93	96,647
5		96,84	96,557
Rata-rata dosis terukur		96,559 µSv/h	
Standard Deviasi		0,06907	
Nilai Faktor Kalibrasi		1,01	

Dengan menggunakan cara yang sama maka didapat nilai faktor kalibrasi dan ketidakpastian gabungan dari 20 personal dosimeter digital yang telah diukur (Tabel 4.5).

Tabel 4. 5 Nilai Faktor Kalibrasi dan ketidakpastian bentangan pada Personal Dosimeter Digital

Personal Dosimeter Digital	Nilai Faktor Kalibrasi	Ketidakpastian bentangan ± (%)
1	1,01	2,94
2	0,98	2,94
3	0,99	2,94
4	1,00	2,64
5	0,99	2,95
6	0,99	2,66
7	0,99	2,67
8	0,98	2,67
9	1,02	2,94
10	1,02	2,95
11	0,96	2,95
12	1,00	2,95
13	1,00	2,95
14	1,00	2,95
15	1,00	2,94
16	0,98	2,68
17	0,99	2,68
18	1,00	2,67
19	0,99	2,73
20	0,99	2,65
Rata-rata	0,99	2,82
Standard Deviasi	0,01	0,14

4.1.2 Hasil dan Analisis Data Kalibrasi dan Ketidakpastian Gabungan Surveimeter Gamma

Pada kalibrasi terhadap 10 surveimeter gamma memiliki 3 parameter yang berbeda yaitu pada skala satuan, puluhan dan ratusan. 3 skala yang terdapat pada survemeter tersebut semuannya harus dikalibrasi. Sehingga saat proses kalibrasi absorber yang digunakan adalah absorber 1/10, 1/100 dan tanpa absorber. Pada skala satuan absorber yang digunakan adalah absorber 1/100, puluhan digunakan absorber 1/10 dan pada skala ratusan tidak

digunakan absorber. Ketidakpastian laju paparan dari ketiga absorber tersebut pada jarak 225 cm adalah ± 2,60 %. Pada kalibrasi surveimeter gamma diketahui tekanan udara = 1007,4 hPa, suhu udara = 21,3 °C dan kelembaban udara = 60,7 %. Sehingga nilai kalibrasi dari surveimeter gamma dinyatakan pada 3 parameter, perhitungan kalibrasi seperti Tabel 4.6. dibawah ini.

Tabel 4. 6 Hasil Pengukuran pada Surveimeter Gamma 1

	Skala x1 (mR/h) BG = 0			Skala x10 (mR/h) BG= 0			Skala x100 (mR/h) BG = 0		
No	Dosis Acuan	Dosis Terbaca	Dosis Terukur	Dosis Acuan	Dosis Terbaca	Dosis Terukur	Dosis Acuan	Dosis Terbaca	Dosis Terukur
1	7,326	7	7	55,545	55	55	708,056	750	750
2		7	7		55	55		750	750
3		7	7		60	60		750	750
4		7	7		60	60		750	750
5		7	7		55	55		750	750
Rata-rata			7	57,00			750		
Standard Deviasi			0,00	2,73861			0,00		
Nilai Faktor Kalibrasi			1,05	0,97			0,94		

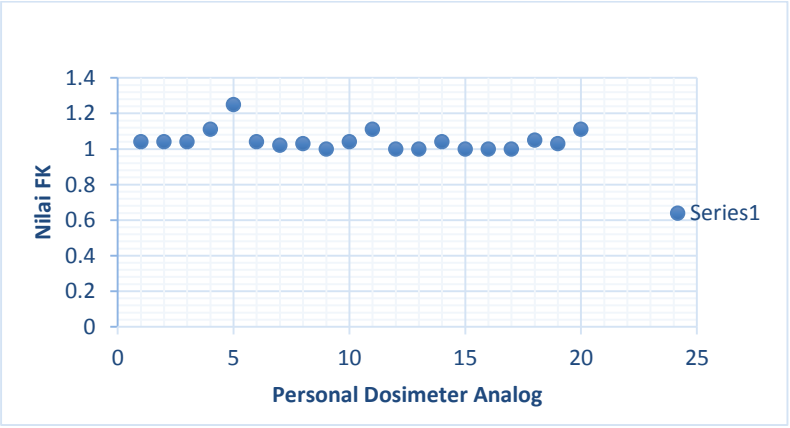
Dengan menggunakan cara yang sama perhitungan nilai ketidakpastian gabungan juga dilakukan pada skala yang lainnya dan pada 10 surveimeter gamma sehingga dapat ditentukan nilai kalibrasi dan ketidakpastian gabungan pada 10 surveimeter Gamma adalah seperti pada Tabel 4.7. dibawah ini.

Tabel 4. 7 Nilai Faktor Kalibrasi dan Nilai ketidakpastian bentangan pada Surveimeter Gamma

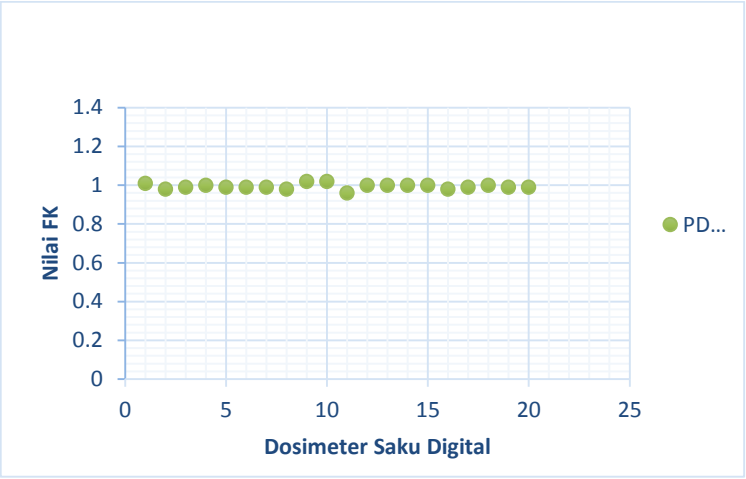
Surveimeter Gamma	Nilai Faktor Kalibrasi Surveimeter			Nilai ketidakpastian bentangan Surveimeter ± (%)		
	Satuan	Puluhan	Ratusan	Satuan	Puluhan	Ratusan
1	1,05	0,97	0,94	3,35	6,23	3,26
2	1,01	0,98	1,01	3,35	3,76	3,09
3	1,02	0,99	0,98	3,21	3,37	3,22
4	1,03	0,99	0,98	3,41	3,38	3,22
5	0,93	0,99	0,92	3,19	2,99	2,76
6	1,04	0,98	0,98	3,24	3,29	2,80
7	1,01	1,01	1,00	3,23	3,03	2,82
8	1,04	1,01	1,02	3,24	3,03	2,83
9	1,04	1,01	1,00	3,24	3,02	2,81
10	1,04	0,94	1,00	4,15	4,68	2,81
Rata-rata	1,02	0,99	0,98	3,36	3,68	2,96
Standard Deviasi	0,03	0,02	0,03	0,29	1,03	0,21

4.1.3 Grafik Hasil Kalibrasi AUR

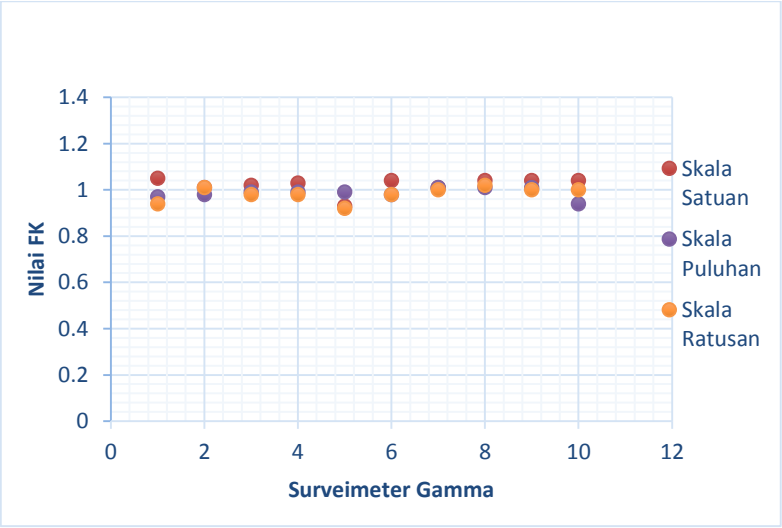
Gambar 4.1 sampai 4.3 menunjukkan nilai faktor kalibrasi dari dosimeter yang diuji.



Gambar 4. 1 Nilai Faktor Kalibrasi Dosimeter Analog



Gambar 4. 2 Nilai Faktor Kalibrasi Personal Dosimeter Digital



Gambar 4. 3 Nilai Faktor Kalibrasi Surveimeter Gamma 3 Parameter

4.2 Pembahasan

Pada kalibrasi personal dosimeter hal pertama yang perlu dilakukan adalah persiapan alat ukur standard saat kalibrasi. Alat ukur standard yang digunakan adalah PTW Unidos. Pengecekan alat ukur standard ini digunakan untuk menentuan stabilitas pada alat yang digunakan. Dimana hasil pengukuran pada alat ukur standard akan dibandingkan dengan hasil tahun sebelumnya. Alat ukur standard dikatakan stabil apabila standard deviasi antara pengukuran tahun ini dan sebelumnya ≤1%. Nilai ini ditentukan oleh BPFK Surabaya. Apabila suatu alat ukur standard, standard deviasinya melebihi 1% maka alat yang digunakan tidak bisa digunakan untuk melakukan pengukuran. Cek stabilitas alat dilakukan selama 6 bulan sekali.

Dalam tugas akhir ini cek stabilitas alat telah dilakukan oleh BPFK Surabaya. Selain cek stabilitas alat, data acuan juga sudah disediakan oleh BPFK Surabaya. Data acuan yang disediakan berupa hasil perhitungan peluruhan output, berupa laju kerma udara (KU), laju dosis tara ambient (H*10), laju dosis tara perorangan (Hp(10)) dan laju paparan (X) dengan jarak 175 cm, 200 cm, 225 cm, 250 cm, 270 cm serta data tanpa absorber dan dengan absorber (1/10, 1/100 dan absorber 1/1000). Data acuan juga dilengkapai dengan ketidakpastian dari laju peluruhan.

Dalam pegambilan data kalibrasi dosimeter saku analog jarak antara dosimeter saku analog (sebagai detektor) dengan sumber radiasi (Cs-137) adalah 200 cm. Pada pengukuran dosimeter saku analog 1 dosis acuan yang digunakan adalah 50 mR. Untuk mendapatkan dosis sebesar 50 mR dengan laju dosis 888,426 mR/jam diperlukan waktu penyinaran 3,38 menit. Waktu penyinaran ini didapat dari pembagian dosis acuan dengan laju paparan radiasi. Besarnya dosis acuan yang ditentukan tergantung dari alat yang akan dikalibrasi (tergantung pada nilai resolusi pada skala yang terbaca pada alat kalibrasi).

Setelah dilakukan penyinaran pada dosimeter saku analog 1 dengan waktu 3,38 menit diketahui besar dosis yang terbaca pada dosimeter saku analog adalah 48 mR. Hal ini tidak sesuai dengan dosis yang diberikan. Begitu pula dengan beberapa dosimeter saku

analog yang dikalibrasi. Hal inilah yang menyebabkan perlunya kalibrasi pada setiap alat ukur radiasi, sehingga dapat diketahui bahwa alat tersebut memberikan respon yang sama terhadap keadaan yang sama pula.

Pada data dosimeter saku analog 1 diketahui bahwa nilai faktor kalibrasinya adalah 1,04 hal ini menunjukan bahwa kualitas dari dosimeter saku analog tersebut masih baik. Seperti yang diketahui nilai faktor kalibrasi dari 20 dosimeter saku analog terdapat 1 dosimeter saku analog yang nilai faktor kalibrasinya melebihi dari rentang 0,8 - 1,2 dan sisanya 19 dosimeter saku analog masih baik. Seperti yang terlihat pada Gambar 4.1 Nilai Kalibrasi Personal Dosimeter Digital, 1 dosimeter saku analog memiliki nilai kalibrasi melebihi 1,2 yaitu pada dosimeter saku analog 5 dengan nilai FK 1,25. Untuk 19 dosimeter saku analog yang yang nilai faktor kalibrasinya terdapat pada rentang 0,8 - 1,2 mengindikasikan alat tersebut masih dapat dipakai untuk pengukuran dosis radiasi.

Sedangkan untuk 1 dosimeter saku analog lainnya kualitas dari dosimeter saku analog tersebut sudah tidak baik. Pengaruh nilai faktor kalibrasi juga dipengaruhi oleh kualitas dari detektor yang digunakan seperti pengaruh umur dari dosimeter saku analog tersebut, sehingga memungkinkan komposisi alat yang terdapat didalam dosimeter saku analog sudah aus sehingga mempengaruhi kualitas respon dari dosimeter saku analog tersebut.

Dosimeter saku analog yang digunakan untuk pengambilan data merupakan detektor ionisasi. Dimana jika terdapat suatu dosis radiasi yang mengenai sebuah detektor ion-ion yang dihasilkan dari detektor ini akan sebanding dengan jumlah radiasi yang mengenai detektor tersebut. Seperti data pada dosimeter saku analog 4. Dengan dosis yang diberikan 100 mR, dan dosis yang terbaca adalah 90 mR. Walaupun dosis yang dihasilkan tidak sama besar, tetapi dengan hasil kalibrasi yang memiliki nilai FK 1,11 alat ini masih layak dipakai. Sedangkan pada dosimeter saku analog no 5 dosis yang diberikan adalah 100 mR dan dosis yang terbaca adalah 80 mR hal ini mengindikasikan

bahwa respon detektor dengan besar radiasi tidak sama sehingga nilai FK dari dosimeter saku analog ini adalah 1,25 melebihi ketentuan yang sudah berlaku sehingga dosimeter saku analog tersebut sudah tidak layak digunakan.

Prinsip kerja dari personal dosimeter saku digital ini sama dengan dosimeter saku analog. Bedanya pada dosimeter saku digital data yang ditampilakan sudah digital, sehingga tingkat ketelitiannya lebih besar dari dosimeter saku analog. Begitu pula dengan langkah kerja dari dosimeter saku digital dengan dosimeter saku analog. Jarak sumber radiasi dengan detektornya juga 200 cm. Pada dosimeter saku digital data yang ditampilkan berupa laju kalibrasi sedangkan pada dosimeter saku analog merupakan besar radiasi. Sehingga pada dosimeter saku digital tidak diperlukan lamanya penyinaran.

Pada kalibrasi 20 dosimeter saku digital seperti pada Gambar 4.2 Nilai Kalibrasi Personal Dosimeter Digital diketahui bahwa nilai faktor kalibrasinya sangat baik yaitu sekitar 0,96-1,02. Dibandingakan hasil nilai faktor kalibrasi dari dosimeter saku analog, dosimeter saku digital cenderung lebih baik daripada dosimeter saku analog. Salah satu faktor yang mempengaruhi nilai faktor kalibrasi dari kedua jenis dosimeter saku ini adalah faktor resolusi. Resolusi dari dosimeter saku digital jauh lebih teliti daripada dosimeter saku analog. Contohnya seperti data dosimeter saku digital 1 diberikan laju 97,376 µSv/h dan data yang terbaca pada dosimeter saku digital adalah 96,487, 96,607, 96,497, 96,647, 96,557 µSv/h dan memiliki rata-rata laju dosis yang terbaca adalah 96,559 µSv/h. sehingga memiliki faktor nilai faktor kalibrasi sebesar 1,01. Hal ini menggmbarkan bahwa respon dari dosimeter saku digital ini baik. Begitupula dengan dosimeter saku digital ke dua dengan laju dosis 97,002 µSv/h data bacaan pada alat memiliki rata-rata 98,716 µSv/h. Sehingga nilai faktor kalibrasinya adalah adalah 0,98. Dari data nilai faktor kalibrasi yang didapat pada 50 dosimeter saku digital menggambarkan bahwa alat tersebut masih sangat baik digunakan.

Pada surveimeter gamma 3 parameter kalibrasi dilakukan sebanyak 3 kali pada masing-masing parameter tersebut. Pada surveimeter gamma 1 untuk skala satuan laju dosis paparan yang ditentukan adalah 7,326 mR/h dan dosis rata-rata bacaan pada alat adalah 7 mR/h. Sehingga nilai FKnya adalah 1,05. Surveimeter gamma ini memiliki resolusi yang kecil. Untuk skala satuan adalah 0,25 mR/h, skala puluhan 2,5 mR/h dan untuk skala ratusan adalah 25 mR/h. Pada Gambar 4.3 diketahui bahwa nilai FK dari 10 surveimeter gamma yang digunakan menunjukan hasil kalibrasi yang baik. Baik untuk skala satuan, puluhan maupun ratusan. Sehingga surveimeter gamma tersebut masih layak digunakan.

Pengukuran pada alat ukur kalibrasi harus memiliki tingkat kepercayaan yang baik. Tingkat kepercayaan ini digambarkan dengan nilai ketidakpastian sehingga memberi gambaran nilai benar yang telah diberikan terhadap suatu pengukuran. Dalam kasus kalibrasi AUR nilai ketidakpastian dari suatu pengukuran sangat penting termasuk untuk hasil faktor kalibrasi. Mengingat AUR sendiri berfungsi sebagai salah satu alat proteksi radiasi.

Hasil dari faktor kalibrasi yang didapat dilengkapi dengan ketidakpastian yang diperoleh saat pengukuran seperti pada tabel 4.2 untuk dosimeter saku analog 1 dengan faktor kalibrasi 1.04 dengan ketidakpastian ±3.81%. Ketidakpastian ini menggambarkan kepercayaan saat pengambilan data kalibrasi alat. Semakin kecil ketidakpastian saat pengambilan data kalibrasi, semakin terpercaya data yang didapatkan. Dalam pengambilan tugas akhir ini, beberapa faktor yang mempengaruhi nilai ketidakpastian dari alat yang diukur adalah ketidakpastian tipe A dari alat atau standard deviasi dari alat tersebut (UA), ketidakpastian resolusi (Ures), ketidakpastian dari laju dosis (Upr), ketidakpastian waktu paro ($U_{T1/2}$), ketidakpastian timer (U_{timer}), ketidakpastian jarak ke detektor (U_d), ketidakpastian tekanan udara (U_P), dan ketidakpastian temperatur (U_T).

CMC digambarkan sebagai ketidakpastian standard gabungan dari ketidakpastian-ketidakpastian tersebut saat melakukan kalibrasi pada suatu alat. CMC pada pengukuran ini

merupakan ketidakpastian terbaik dari alat-alat yang telah dikalibrasi. U_{timer} digunakan pada evaluasi ketidakpastian untuk dosimeter saku analog hal ini disebabkan karena pada dosimeter saku analog lama penyinaran ditentukan, sedangkan pada surveimeter dan personal dosimeter digital lama penyinaran tidak ditentukan. Karena pada surveimeter dan personal dosimeter digital yang ditentukan adalah laju dosis radiasi, sedangkan pada dosimeter saku analog data yang ditentukan adalah besarnya radiasi seperti yang sudah dijelaskan pada bab 3.

Pada saat melakukan kalibrasi suhu ruangan kalibrasi berkisar 20-21 derajat Celcius. Suhu ini merupakan suhu stabil untuk penggunaan sumber radiasi Cesium. Pada tabel 4.6 nilai ketidakpastian yang terbaik atau CMCnya adalah 2,64 %. Nilai ketidakpastian ini dimiliki oleh alat dosimeter saku digital dosimeter 4. Sedangkan nilai ketidakpastian yang paling rendah adalah ±2,95% yang dimiliki oleh dosimeter saku digital no 5, 10, 11, 12, 13, 14 dan 15. Idealnya pengukuran kalibrasi dilakukan pada suhu 20°C.

Pada dosimeter saku analog selain suhu udara, resolusi pada alat juga memiliki pengaruh terbesar terhadap ketidakpastian. Dibandingkan dengan dosimeter saku digital yang juga merupakan dosimeter saku dosimeter saku analog memiliki nilai CMC yang lebih besar. Hal ini dipengaruhi oleh nilai resolusi terkecil, dari sebagian besar dosimeter saku analog yang diuji resolusi terkecilnya adalah 1. Pada dosimeter saku analog no 4 memiliki nilai ketidakpastian ±3,21% yang merupakan nilai ketidakpastian terbaik atau nilai CMC dari dosimeter saku analog. Sedangkan untuk dosimeter saku analog no 14 memiliki nilai ketidakpastian paling besar yaitu 8,65% dengan resolusi 5.

Pada surveimeter gamma diketahui bahwa nilai CMC untuk parameter satuan, puluhan dan ratusan adalah 3,19%, 2,99% dan 2,76%. Nilai CMC ini didapat dari alat no 5. Semakin kecil nilai CMC yang menyatakan ketidakpastian pada suatu alat dilabaratorium maka tingkat kepercayaan laboratorium tersebut semakin besar. Begitupula sebaiknya. Dalam memilih

laboratorium untuk melakukan kalibrasi mengetahui nilai CMC menjadi sangat penting, karena nilai ini menggambarkan ketidakpastian terbaik dari laboratorium tersebut yang berkaitan dengan terpercayanya pengukuran yang dilakukan laboratorium tersebut.

BAB V
KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Pada penelitian ini diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari 40 dosimeter saku yang diuji, 39 dosimeter dikatakan baik karena memenuhi standard kalibrasi, 1 dosimeter lainya tidak layak digunakan karena nilai faktor kalibrasi melebihi standard yang telah ditetapkan. Dari 10 surveimeter gamma yang diuji semuanya memenuhi standard sehingga surveimeter masih layak dipakai.
2. Nilai CMC dari dosimeter saku analog, dosimeter saku digital dosimeter berturut turut adalah 3,21% dan 2,64%. Sedangkan untuk surveimeter gamma untuk parameter satuan, puluhan dan ratusan ketidakpastiannya berturut-turut adalah 3,19%, 2,99% dan 2,76%.

5.2 Saran

Setelah dilakukannya penelitian ini maka diperoleh beberapa hal yang perlu dilakukan sebagai pengembangan untuk penelitian selanjutnya yaitu perlunya nilai CMC setiap tahunnya untuk selalu diperbaharui dan perlunya pembanding untuk labaratorium Kalibrasi Alat Ukur yang lain sehingga nilai CMC dapat dibandingkan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

Alatas, Z., 2009. Buku Pintar Nuklir. BATAN.

BAPETEN, 2006. Peraturan Kepala Bapeten Nomor 1 Tahun 2006 Tentang Laboratorium Dosimetri, Kalibrasi Alat Ukur Radiasi Dan Keluaran Sumber Radiasi Terapi, Dan Standardisasi Radionuklida. Jakarta.

BATAN | Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi, 2016. URL http://layanan.batan.go.id/layananptkmr/layanandosimetri.php (diakses 12 Januari 2017).

Botter-Jensen, L., Hedeman, J., 1992. Determination of Scattered Gamma Radiation in The Calibration of Environmental Gamma Dose Rate Meters. Radiation Protection Dosimetry 291 -299.

IAEA, 2009. TRS 469 Caibration of Reference Dosimeters for Exsternsl Beam Radiotheraphy. Austria : IAEA.

Kim, J., Hyeonso, P., Kil-Oung, C., Jiyeon, K., 2014. Dose Dependence and Uncertainty Evaluation of Calibration Factors for Active Neutron Personal Dosimeters 4, 798–801. https://doi.org/10.15669/pnst.4.798

Krane, K., S., 1988. Introductory Nuclear Physics. Canada : John Wiley & Sons.

Nazaroh, 2011. Kalibrasi Dosimeter saku Gamma (DSG) dan TLD/Film Badge (FB) Di Laboratorium PTMKR_BATAN. J. Standardisasi 13, 120–128.

Nazaroh, 2010. Pedoman Pengukuran Laju Kerma Udara dan Kalibrasi Alat Ukur Radiasi Tingkat Proteksi Serta Penilaian Ketidakpastiannya Berdasarkan The Measurement Good Practice Guide No. 49/2003. Jakarta : BATAN

Nazaroh, F., 2011. Komparasi Pengukuran Laju Kerma Udara Pesawat Ob-85 Menggunakan Alat Ukur Radiasi

Standard Sekunder Dan Standard Turunannya.Jakarta : BATAN

Setiawan, Duyeh., 2010. Radio Kimia Teori Dasar dan Aplikasi Teknik Nuklir. Bandung : Widya Padjadjaran

BIODATA

Penulis bernama Kurnia Hastu C, dapat dipanggil Tanti. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara yang lahir di Blitar, 28 Februari 1996. Ayah penulis bernama Karsianto, ibu penulis bernama Tugas Tjahjaning T. Saat ini tinggal di Desa Kebonduren RT 03 RW 03, Kecamatan Ponggok, Kabupaten Blitar, Jawa Timur. Penulis telah menempuh pendidikan formal di Pertiwi Kebonduren, SDN Cikupa 2 Tangerang, SMPN 2 Srengat, dan SMAN 1 Srengat. Pada tahun 2014, penulis menempuh perkuliahan di Departemen Fisika FIA ITS dengan bidang minat Fisika Medis dan Biofisika. Selama perkuliahan penulis mengikuti beberapa organisasi, yaitu BEM FMIPA ITS pada periode 2015/2016 sebagai Staf PSDM dan pada periode 2016/2017 sebagai Sekertaris PSDM. Penulis pernah bergabung dalam beberapa kepanitiaan, yaitu Penulis berharap penelitian Tugas Akhir ini dapat bermanfaat dan dapat dikembangkan lebih lanjut. Kritik dan saran dapat dikirim ke fauziekurnia@gmail.com.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”