

RANCANG BANGUN KILOVOLT PEAK (kVp) METER SEBAGAI ALAT UKUR UJI KESESUAIAN PESAWAT SINAR-X

Naskah Publikasi

untuk memenuhi sebagian persyaratan
mencapai derajat D3

Program Studi D3 Teknik Elektromedik



diajukan oleh
Zaipul Rahmat
20143010016

Kepada
**PROGRAM STUDI
D3 TEKNIK ELEKTROMEDIK
PROGRAM VOKASI
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA
2017**

Rancang Bangun Kilovolt Peak (kVp) Meter Sebagai Alat Ukur Uji Kesesuaian Pesawat Sinar-X

Zaipul Rahmat¹, Hanifah Rahmi F², Djoko Sukwono³
Prodi D3 Teknik Elektromedik Program Vokasi
Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
Jln. Lingkar Selatan Tamantirto, Kasihan, Bantul-DIY, Indonesia 555185
Telp. (0274) 387656, Fax (0274) 387646
zaipulrahmat@gmail.com¹, hanifah.fajrin@vokasi.umy.ac.id²

ABSTRACT

Kilovolt Peak meter (kVp Meter) is a tool which is used to measure the top voltage of the x-ray tube. The arrangement of the tube voltage of the X-ray appliance is an important factor in order to produce an image (information anatomy) which has a good quality, feasible and safe for the diagnosis process. Therefore, the tube voltage should always be measured periodically and calibrated if it is necessary. In the design of this kVp Meter tool uses Arduino gelatino microcontroller which is programmed with Arduino IDE software as data processor of detector result. The detector is designed based on the physics principle that the material linear attenuation coefficient, that is aluminum has a good effect in reducing the energy level of X-ray photons, so that only the effective energy of the X-ray energy is read by the photodiode sensor. Based on the radiation intensity ratio through the aluminum filter with 0.25mm and 0.5mm thickness, it is better to measure the X-ray tube voltage with non-invasively because the measurement is not too affected by X-ray waves. The kVp meter tested by setting time of X-ray exposure is 0.3 second, tube current is 10mA, and kVp meter distance from collimator is 90cm. The calculation of the result will be displayed on LCD 2X16. The calculation of the result will be displayed on LCD 2X16. A prototype unit was built and the performance was tested in terms of accuracy and precision.

Key Words: kVp Meter, X-Ray, detektor.

1. PENDAHULUAN

Radiodiagnostik merupakan tindakan medis yang memanfaatkan radiasi pengion (*X-ray*) untuk melakukan diagnosis tanpa harus dilakukan pembedahan. Sinar-X akan ditembakkan ke obyek dan berkas sinar-X yang menembus obyek dicitrakan ke film rontgen atau diolah secara digital agar kondisi/ keadaan di dalam suatu obyek yang tidak dapat dilihat menjadi dapat dilihat secara visual sehingga memudahkan proses diagnosis.

Selain bermanfaat dalam tindakan diagnosis, kesalahan dosis dalam penggunaan sinar-X sangat merugikan, baik dari segi pasien, operator, teknisi dan pembangkit sinar-X (*röntgen*). Saat dosis lebih rendah dari yang diatur pada *control panel*, menyebabkan hasil citra akan berbeda dan sulit untuk mendiagnosis, maka harus dilakukan pengulangan penyinaran, dan juga sebaliknya, jika dosis terlalu tinggi pasien akan menerima radiasi yang tidak

diperlukan, dan citra yang dihasilkan akan hitam terutama untuk pesawat sinar-X konvensional. Selain itu, dosis radiasi sinar-X (pengion) berlebih dapat menimbulkan proses ionisasi pada jaringan lunak, organ maupun cairan di dalam tubuh manusia yang mengakibatkan terjadinya kerusakan sel, mutasi gen, terbentuknya radikal bebas, sel-sel kanker, dsb [1].

Kesalahan dosis dalam penggunaan pesawat sinar-X salah satunya diakibatkan oleh tidak sesuainya antara tegangan tabung yang diatur pada *control panel* pesawat sinar-X dengan intensitas sinar-X yang dihasilkan, untuk mengetahui adanya ketidaksesuaian tegangan tabung ini maka harus dilakukan uji kesesuaian terhadap pesawat sinar-X, Uji kesesuaian adalah melakukan uji kalibrasi terhadap beberapa parameter pada pesawat sinar-X, diantaranya lama waktu penyinaran(s), arus tabung(mA), dan tegangan tabung[2]. Untuk melakukan pengukuran tegangan tabung maka

dibutuhkan alat ukur yaitu Kilovolt Peak Meter (kVp Meter). Masih jarang nya Rumah Sakit yang mempunyai Kilovolt Peak Meter (kVp Meter) sehingga uji kesesuaian tegangan tabung pesawat sinar-X tidak dapat dilakukan secara internal yang akibatnya kesalahan pemberian dosis sinar-X yang diakibatkan tidak sesuai nya keluaran tegangan tabung terlambat diketahui, maka pada penelitian dibuat rancang bangun Kilovolt Peak Meter (kVp Meter) dengan metode pengambilan data secara tidak langsung (*non-invasive*) untuk mengukur kesesuaian keluaran tegangan tabung pesawat sinar-X dengan yang diatur pada *control panel*.

Pengukuran tegangan tabung pesawat sinar-X dilakukan dengan cara merubah energi efektif sinar-X yang ditembakkan oleh pesawat rotnge menjadi besaran listrik dengan menggunakan detektor photodiode. Tegangan tersebut dikuatkan dengan *IC log101* agar besaran listrik dari photodiode bisa diolah oleh mikrokontroler dengan baik, sehingga tegangan tabung dapat diketahui [3].

Penelitian tentang pembuatan rancang bangun kVp Meter ini merujuk pada beberapa penelitian sebelumnya, yang pertama penelitian tugas akhir Dwi Kurniawan dari Politeknik Kementrian Kesehatan Surabaya dengan judul Alat Kalibrasi X-ray Dengan Parameter Kilo Volt (KV) tahun 2010. Metode yang digunakan untuk mengukur tegangan tabung yaitu secara tidak langsung (*non-invasive*), mengubah sinar-X menjadi cahaya tampak dengan *intensifier screen* dan ditangkap oleh *solar cell* untuk dijadikan tegangan listrik dan diolah oleh mikrokontroler AT89951 dengan ADC eksternal 0884. Hasil pengukuran masih belum linier dan tidak presisi karena salah satu penyebabnya adalah pengaruh kemampuan detektor *solar cell* dan *after glow* dari *intensifier screen* [4].

Rujukan penelitian kedua terhadap penelitian Y. Ülgen dan M. Tümer dari Boğaziçi University, *Institute of Biomedical Engineering* dengan judul *Design of a Microcontroller Based and X-Ray Waveform*

Independent kVp-Meter tahun 2012. Metode yang digunakan yaitu pengukuran tegangan tabung pesawat sinar-X secara tidak langsung (*non-invasive*) dengan merubah sinar-X menjadi besaran listrik menggunakan detektor semikonduktor. Ketepatan hasil pengukuran 1% dengan kesalahan terbesar 3% [3]. Kekurangan pada penelitian ini diantaranya yaitu pengukuran hanya dilakukan pada tegangan tabung diatas 60 kVp dengan menggunakan tiga detektor dimana 2 detektor untuk mengukur besaran sinar-X, satu detektor lagi sebagai saklar mulai nya pengukuran.

Rujukan penelitian ketiga yaitu penelitian dari Risna Puspitasari & Nusukha, dari Dapertemen Fisika Universitas Indonesia Depok, dengan judul Penelitian Pengukuran Tegangan Pesawat Sinar-X Radiodiagnostik Secara *Non-Invasive* (2003). Pada penelitian ini tidak dilakukan pembuatan Kilovolt Peak Meter (kVp Meter), akan tetapi dijelaskan prinsip dasar teori fisika tentang cara melakukan pengukuran tegangan tabung pesawat sinar-X secara *Non-Invasive* sekaligus, membandingkan dua metode pengukuran tegangan tabung pesawat sinar-X secara *non-invasive* yang umum dilakukan yaitu dengan menggunakan kVp test cassette Wisconsin model 105 dan RMI digital kVp meter[5].

Pada penelitian pembuatan Rancang Bangun Kilovolt Peak Meter ini beberapa kekurangan penelitian sebelumnya akan diperbaiki. Pengukuran tegangan tabung pesawat sinar-X dilakukan secara *non-invasive* tanpa menggunakan *intensifier screen* dan juga tanpa detektor yang berfungsi sebagai saklar untuk memulai pembacaan energi sinar-X, hal ini bertujuan agar hasil pengukuran tidak terpengaruh oleh adanya *after glow* dari *intensifier screen* sehingga energi sinar-X dapat langsung dibaca oleh detektor, tanpa harus terlebih dahulu dirubah menjadi cahaya tampak dan juga pengukuran dilakukan tanpa menggunakan detektor sebagai saklar untuk mulai pembacaan energi sinar-X, bertujuan agar seluruh paparan energi dari sinar-X tersebut dapat dideteksi tanpa adanya jeda,

(tanpa harus menunggu instruksi detektor lain agar alat mulai melakukan proses pembacaan). Filter sinar-X yang digunakan adalah aluminium (Al) dengan ketebalan 0.25 dan 0.5 mm yang tujuannya agar pengukuran tegangan tabung dapat dilakukan pada *range* 50 hingga 70 kVp dengan menggunakan sensor photodiode, energi efektif sinar-X setelah melewati filter aluminium (Al) dibaca oleh photodiode dan energi sinar-X tersebut dirubah menjadi besaran elektrik yang kemudian dikuatkan menggunakan penguatan logaritma. Hasil penguatan tersebut diolah oleh Mikrokontroler Arduino Gelatino yang diprogram menggunakan perangkat lunak Arduino IDE yang merupakan *software* program sedang populer agar nilai tegangan tabung pesawat sinar-X (kVp) dapat terukur secara *non-invasive*.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Menghitung Koefisien Atenuasi (μ)

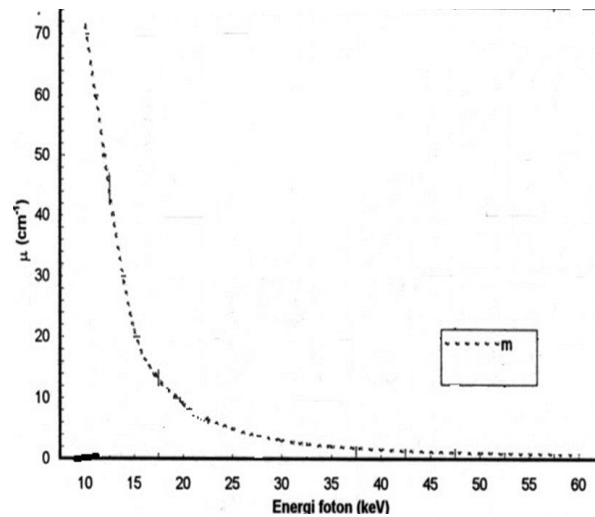
Mengukur tegangan tabung pesawat sinar-X secara *non-invasive* dilakukan dengan cara mengukur energi efektif dari intensitas sinar-X yang dihasilkan oleh pesawat rontgen. Energi efektif sinar-X diperoleh dengan menghitung nilai koefisien atenuasi bahan (μ) yang mana pada penelitian ini bahan yang digunakan adalah Aluminium (Al), nilai μ yang diperoleh akan sebanding/ senilai dengan tegangan tabung Pesawat sinar-X [3].

Koefisien atenuasi (μ) dapat diketahui dengan menggunakan hukum Beer-Lambert yaitu:

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu t} \quad (2-1).$$

Dengan I adalah intensitas energi sinar-X (foton) yang diteruskan, I_0 adalah intensitas foton yang datang, μ adalah koefisien atenuasi dari bahan yang digunakan sebagai filter, dalam penelitian ini digunakan aluminium, koefisien atenuasi disini maksudnya koefisien serapan bahan (Al) terhadap energi sinar-X dan t adalah tebal bahan/ materi (aluminium), semua variabel

diatas dapat diketahui kecuali μ [6]. Grafik hubungan μ Aluminium terhadap energi sinar-X dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Koefisien aluminium vs energi sinar-X [6]

Koefisien atenuasi (μ) dapat diperoleh dengan cara menghitung rasio dari dua data pengukuran, yaitu dengan menggunakan persamaan

$$I_1 = I_0 \cdot e^{-\mu t_1} \quad \text{dan} \quad I_2 = I_0 \cdot e^{-\mu t_2} \quad (2-2).$$

Berdasarkan persamaan diatas maka I_0 tereliminasi sehingga diperoleh rumus

$$\mu_{Al} = \ln \frac{(I_1 / I_2)}{t_1 - t_2} [3]. \quad (2-3).$$

Berdasarkan rumus (2-3) maka diketahui untuk memperoleh nilai μ dibutuhkan dua detektor yang mana masing-masing detektor difilter dengan aluminium dengan ketebalan berbeda sehingga diperoleh nilai I_1 dan I_2 , nilai yang dihasilkan pada masing2 detektor dihitung dengan rumus logaritma rasio sekaligus dilakukan penguatan dengan IC LOG101 rumus perhitungan dan penguatannya adalah:

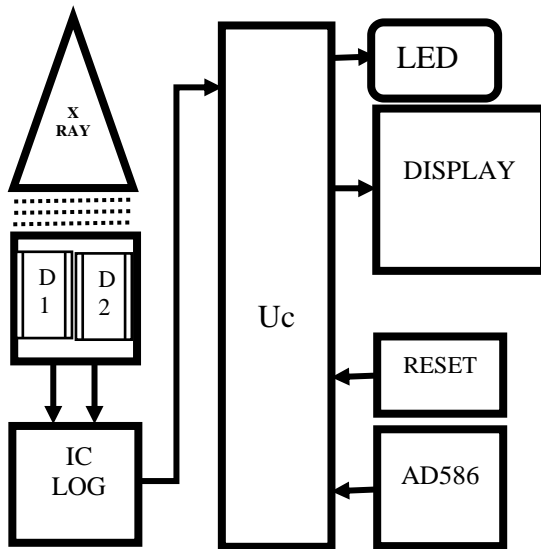
$$V_{out} = 1 \text{ Volt} \cdot \text{Log} (I_1 / I_2) [7] \quad (2-4).$$

Setelah dilakukan perhitungan berdasarkan rumus (2-4) maka besaran elektrik hasil penguatan sekaligus perhitungan tersebut diolah menggunakan Mikrokontroler

Arduino gelatino, sehingga diperoleh nilai μ . Nilai μ disini dalam besaran elektris yang mana nilainya akan sebanding dengan nilai tegangan tabung pesawat sinar-X.

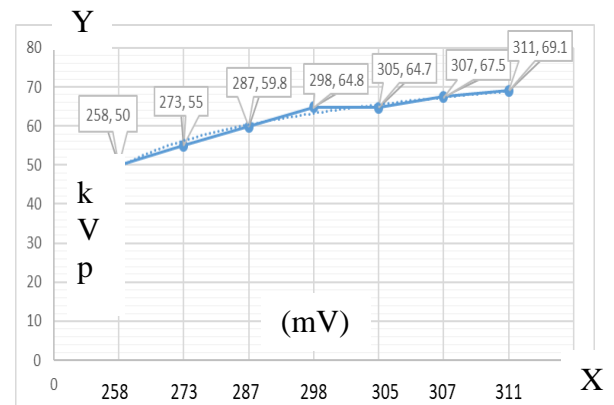
2.2 Sistem

Diagram blok sistem dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Diagram blok sistem

Cara kerja blok diagram tersebut adalah pada saat melakukan pengukuran tegangan tabung pesawat sinar-X, detektor D1 dan D2 akan terpapar sinar-X dengan intensitas berbeda yang disebabkan sinar-X tersaring oleh dua filter aluminium yang mempunyai ketebalan berbeda, akibatnya detektor menghasilkan dua karakteristik besaran elektris, kemudian besaran elektris tersebut dikuatkan dengan rangkaian *log amplifier* agar dihasilkan tegangan yang stabil dengan rumus perbandingan (2-4). Hasil pengolahan dari *log amplifier* diatas maka diperoleh suatu besaran elektris yang mewakili nilai μ dari filter aluminium terhadap intensitas sinar-X, dimana intensitas sinar-X yang dihasilkan tergantung oleh nilai tegangan tabung. sehingga besaran elektris tersebut dimasukkan pada pin ADC Arduino Gelatino dengan IC ATmega16 untuk diukur, kemudian besaran elektris yang mewakili nilai μ dikonversikan ke tegangan dengan satuan milli volt (mV).



Gambar 2. 3 Grafik hubungan tegangan detektor (mV) terhadap tegangan tabung (kVp)

Gambar 2.3 merupakan hasil keluaran detektor dalam besaran elektris (mV) yang mana keluaran detektor dipengaruhi oleh nilai tegangan tabung dengan satuan (kVp) dari data diatas diketahui nilai keluaran detektor yang dihasilkan tidak linear atau kenaikan tegangan detektor tidak sama setiap kenaikan tegangan tabung pesawat sinar-X. maka untuk melakukan pengolahan data dari detektor agar sebanding dengan tegangan tabung yang tertampil pada kVp meter pembandingan (*Gold Standard*) digunakan fungsi transfer tak linier yaitu digunakan rumus fungsi logaritmik[8], penggunaan rumus logaritmik sebagai rumus fungsi transfer sekaligus sebagai penyempurna rumus menghitung logaritma dari koefisien atenuasi yang rumus nya yaitu:

$$\mu = \ln I_1/I_2 \quad (2-5).$$

dimana pada tahap ini penggunaan rumus tersebut baru sampai tahap perhitungan hasil dari perbandingan antara keluaran detektor satu dan detektor dua (I_1/I_2) dan belum dilogaritma naturalkan. Rumus fungsi transfer tak linear dapat dilihat pada (2-6) yaitu:

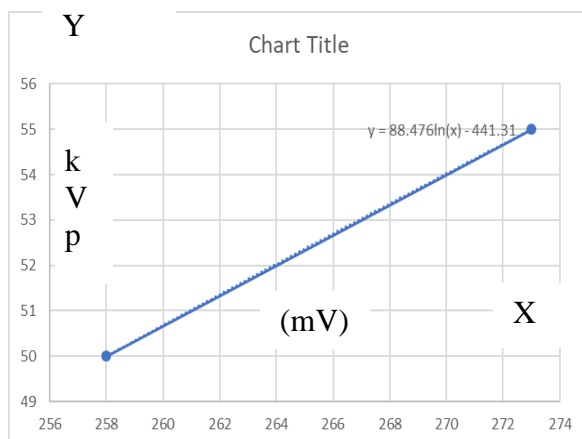
$$y = a + b \ln X \quad (2-6).$$

Untuk mencari fungsi transfer dari detektor lebih jelasnya dapat dilihat pada poin 2.3 Karakterisasi detektor.

Pada Gambar 2.2 IC AD586 berfungsi sebagai penstabil tegangan referensi dari Arduino Gelatino. Pada saat detektor terkena sinar-X maka LED akan otomatis menyala sehingga dapat digunakan sebagai tanda ada atau tidaknya radiasi sinar-X yang dihasilkan oleh pesawat sinar-X. Tombol reset berfungsi untuk menghapus nilai yang telah terbaca, sehingga pengukuran dapat dilakukan kembali.

2.3 Karakterisasi Detektor

Dalam penelitian ini detektor yang digunakan merupakan detektor buatan sendiri atau tidak menggunakan detektor khusus yang memiliki suatu acuan (*datasheet*), sehingga untuk mengetahui karakteristik atau pengaruh intensitas sinar-X (kVp) terhadap keluaran detektor yang berupa besaran listrik (mV) dilakukan karakterisasi sendiri terhadap detektor tersebut, yaitu dengan mencari fungsi transfer dari detektor, karakterisasi dilakukan setelah didapatkan nilai koefisien atenuasi filter aluminium (μ) dalam bentuk sinyal listrik dengan satuan millivolt, sehingga berdasarkan nilai koefisien atenuasi tersebut ditentukan rumus dan bentuk program (*software*) yang paling baik untuk digunakan dalam pengolahan data pada Arduino Gelatino agar hasil pengukuran tegangan tabung pesawat sinar-X lebih optimal. Berikut adalah karakterisasi detektor pada tegangan tabung 50 hingga 55 kVp.

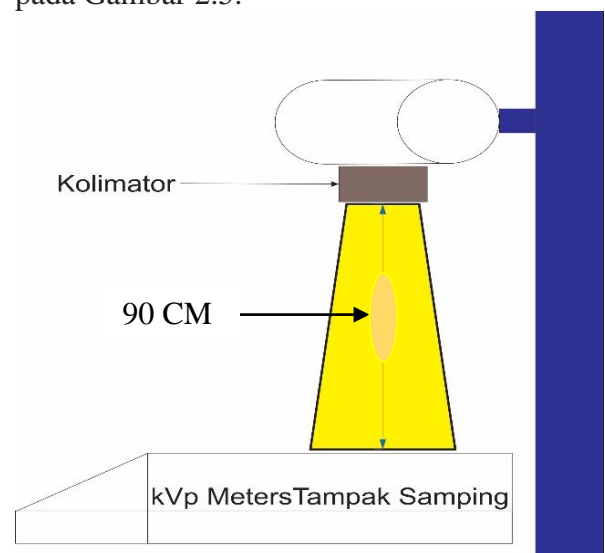


Gambar 2. 4 Grafik hubungan kVp gold standar dengan ln tegangan detektor

Fungsi transfer pada Gambar 2.4 tersebut yaitu $y=88.476\ln(x)-441.31$ fungsi ini menginformasikan bahwa setiap perubahan tegangan tabung 1 kVp terjadi perubahan tegangan keluaran detektor sebesar $\pm\ln 88.5$ mv, jadi sensitivitas detektor sinar-X adalah $\pm\ln 88.5$ mv/kVp dan offset nya adalah $-\ln 441.31$. Fungsi transfer tersebut ($y=88.476\ln(x)-441.31$) dimasukkan pada rumus program mikrokontroler sebagai pengolah data, setelah itu dibuat *look up table* untuk pengambilan data dan dilakukan pengujian ulang. Pengujian dilakukan dengan menggunakan Gold Standard (Radcal kVp Meter).

2.4 Pengujian Dan Pengambilan Data

Pengujian dan pengambilan data kVp meter dilakukan pada lima *test point* pengaturan tegangan tabung pesawat sinar-X yaitu 50,55,60,65 dan 70 kVp, dengan pengaturan lama waktu paparan 0.3 sinar-X detik, pengaturan arus tabung 10 mA dan jarak pengukuran 90 cm dari kolimator/ 100 cm dari anoda katode pesawat sinar-X. Setiap test pont dilakukan pengujian 7 hingga 8 kali *expose* sinar-X, dengan *Gold Standard* Radcal kVp Meter, Gold Standard adalah kVp meter yang sudah terkenal dan baik digunakan untuk mengukur tegangan tabung pesawat sinar-X skematik pengambilan data kVp meter dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2. 5 Skematik Pengujian kVp Meter

3. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Setelah pembuatan blok sistem rancang bangun Kilovolt Peak (kVp) Meter Sebagai Alat Ukur Uji Kesesuaian Pesawat Sinar-X selesai, maka dilakukan beberapa pengujian terhadap sensor photodiode, filter dan juga kVp meter setelah semua blok disatukan. Pengujian dilakukan agar didapatkan karakteristik sensor, filter dan diketahui tingkat akurasi alat untuk mengukur intensitas tegangan tabung pada range 50 hingga 70 kVp, berikut hasil dari pengujian tersebut:

3.1 Pengujian Sensitivitas Photodiode

Pengujian sensitivitas photodiode dilakukan agar diperoleh jenis photodiode yang sensitif terhadap sinar-X. Photodiode yang diuji yaitu BV10NF dan BPW34. Pengujian photodiode dilakukan pada jarak 90 cm dari kolimator pesawat sinar-X, dengan pengaturan tegangan tabung bervariasi yaitu 50, 60 dan 70 kVp, waktu tetap 0.3 detik dan tegangan yang dihasilkan photodiode diukur menggunakan minimum sistem Arduino Gelatino. Dalam pengujian akan dilihat pengaruh tegangan tabung pesawat sinar-X terhadap besaran elektrik yang dihasilkan oleh photodiode. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Sensitivitas photodiode BPV10NF vs BPW34

No	kVp	BPV10NF (mV)	BPW34 (mV)
1	50	0	0.07
2	60	0	0.09
3	70	0	0.14

Berdasarkan hasil di atas diketahui bahwa BPW34 lebih baik dari BPV10NF untuk digunakan sebagai sensor pendeteksi energi sinar-X yang dibuktikan dengan adanya kenaikan tegangan hasil photodiode BPW34 sebagai respon terhadap kenaikan tegangan tabung pesawat sinar-X.

3.2 Pengujian Filter

Pengujian filter dilakukan agar didapatkan jenis dan karakteristik filter yang sesuai, baik dari jenis bahan ataupun ketebalan filter tersebut agar didapatkan energi efektif sinar-X pada tegangan tabung 50 hingga 70 kVp. Filter yang diuji yaitu Tembaga dengan ketebalan 0,5 mm dan 1 mm sekaligus filter Aluminium dengan ketebalan 0.25 dan 0.5 mm. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 3.2 dan Tabel 3.3.

Tabel 3. 2 Pengujian Filter Tembaga vs Tegangan Tabung terhadap sinar-X

No	Tegangan Tabung (kVp)	Ketebalan Filter Tembaga (mm)		Tegangan Detektor Terbaca (mV)
		Detektor 1	Detektor 2	
1	50	0.5	1	0
2	60			0
3	66.2			368
4	72.1			384
5	89.1			394

Tabel 3. 3 Pengujian Filter Tembaga vs Tegangan Tabung terhadap sinar-X

No	Tegangan Tabung (kVp)	Ketebalan Filter Aluminium (mm)		Tegangan Detektor Terbaca (mV)
		Detektor 1	Detektor 2	
1	50	0.25	0.5	270
2	60			279
3	63.2			297
4	68			308
5	69.1			311

Berdasarkan hasil uji coba pada Tabel 3.2 dan Tabel 3.3 disimpulkan bahwa penggunaan filter aluminium lebih baik untuk digunakan, dikarenakan pada saat menggunakan filter tembaga tegangan tabung dibawah 60 kVp tidak bisa terukur.

3.3 Pengujian kVp Meter

Setelah didapatkan photodiode, karakteristik filter dan setiap blok alat bekerja dengan baik, maka dilakukan penyatuan semua blok alat dan dilakukan pengujian ulang dan pengambilan data, hasil dari pengujian tersebut di analisis atau dihitung tingkat akurasi nya terhadap pembacaan dari *Gold Standard* sekaligus tingkat presisi pembacaan nya.

Dari hasil pengukuran saat nilai tegangan tabung 50 kVp diperoleh nilai presisi pengukuran ± 1.18 dengan tingkat akurasi 5%, pada pengukuran tegangan tabung 55 kVp diperoleh nilai presisi ± 1.26 dan tingkat akurasi pengukuran 3 %, pada 60 kVp didapat kepresisian pengukuran sebesar ± 0.36 dan tingkat keakuratan pengukuran (akurasi) 3%, pada kelompok pengukuran 65 kVp diperoleh tingkat presisi alat sebesar ± 1.15 dengan keakuratan pengukuran 2%, dan pada nilai tegangan tabung 70 kVp diperoleh kepresisian pengukuran ± 0.8 dengan tingkat akurasi 1%. Rancang Bangun kVp Meter ini efektif bekerja pada tegangan tabung 50-70 kVp. Hasil dari pengukuran tegangan tabung pesawat sinar-X secara non-invasive dengan menggunakan alat ini dengan dibandingkan terhadap gold standar (Radcal kVp meter) dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3. 4 Data hasil pengukran tegangan tabung 50-70 kVp dengan Gold Standard Radcal kVp meter, setingan waktu 0.3 s dan arus tabung 10 mA.

Set. kVp	Rata-rata Pembacaan		Presisi	Akurasi
	Gold Standard	kVp Meter		
50	52.6	50	± 1.18	5%
55	56.77	55	± 1.26	3%
60	63.27	61.47	± 0.36	3%
65	62.8	64.21	± 1.15	2%
70	69.71	68.9	± 0.82	1%

Tabel 3.4 adalah hasil uji alat kVp meter setelah dibandingkan dengan *Gold standard* (Radcal kVp Meter) dengan settingan tegangan tabung bervariasi yaitu 50,55,60,65 dan 70 kVp, Pengaturan lama waktu paparan sinar-X, arus tabung dan jarak tetap yaitu dengan nilai arus tabung 10 mA, lama waktu paparan sinar-X 0.3 detik dan jarak alat dari kolimator pesawat sinar-X yaitu 90 cm. sekaligus dianalisis tingkat akurasi dan presisi pembacaan alat (kVp Meter).

4. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian, disimpulkan bahwa photodiode yang digunakan yaitu BPW34 memiliki sensitivitas baik untuk mendeteksi sinar-X sehingga bisa digunakan sebagai sensor untuk mengukur intensitas sinar-X. Aluminium merupakan bahan yang memiliki karakteristik baik, untuk digunakan sebagai filter terhadap sinar-X, agar diperoleh energi efektif dari sinar-X tersebut yaitu dengan cara menghitung koefisien atenuasi (μ) dari filter aluminium, pada tegangan tabung 50 hingga 70 kVp.

Berikut hasil analisis akurasi pembacaan kVp meter terhadap *Gold Standard* (Radcal kVp Meter) dan perhitungan tingkat presisi pembacaan alat disimpulkan bahwa Rancang Bangun Kilovolt Peak (kVp) Meter ini dapat digunakan untuk mengukur tegangan tabung pesawat sinar-X secara tidak langsung (*non-invasive*) dengan tingkat akurasi paling tinggi yaitu 5% dan tingkat presisi pembacaan kurang dari ± 1.2 pada *range* pengukuran tegangan tabung 50 hingga 70 kVp. Pengukuran tegangan tabung pesawat sinar-X secara *Non-Invasive* dengan menggunakan sensor photodiode dan filter aluminium (Al) yang memiliki ketebalan 0.25mm dan 0.5 mm dapat digunakan untuk melakukan pengukuran tegangan tabung yang cukup stabil dan baik digunakan untuk mengukur tegangan tabung pada range 50 hingga 70 kVp.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. Lusiyanti and Mu. Syaifudin, "Penerapan Efek Interaksi Radiasi

- Dengan Sistem Biologi Sebagai Dosimeter Biologi,” *JFN*, vol. 2, no. ISSN 1978-8738, 2008.
- [2] BPFK, “Uji Kesesuaian Pesawat Sinar X.” BPFK, Jakarta, pp. 1–2, 2016.
 - [3] Y. Ülgen and M. Tümer, “Design of a Microcontroller Based and X-Ray Waveform Independent kVp-Meter,” *Am. J. Biomed. Eng.*, vol. 1, no. 1, pp. 41–43, 2012.
 - [4] D. Kurniawan, “Alat Kalibrasi X-ray Dengan Parameter Kilo Volt (KV),” Politeknik Kesehatan Kemenkes Surabaya, 2010.
 - [5] R. Puspitasari and Nasukha, “Pengukuran Tegangan Pesawat Sinar-X Radiodiagnostik Secara Non-Invasive,” in *Proseding Seminar Pengembangan Teknologi Dan Perekayasaan Instrumentasi Nuklir*, 2003.
 - [6] Sumarni and T. Mart, “Penentuan Energi Efektif Sinar-X Radiodiagnostik,” in *Presentasi Ilmiah Keselamatan Radiasi dan Lingkungan VIII*, 2000, pp. 23–24.
 - [7] B.-B. Products And T. Instruments, “Datasheet Logarithmic And Log Ratio Amplifier Analog Signal Compression In Front,” 2004.
 - [8] Wildan, “karakteristiksensor.” Jurusan Fisika Universitas Andalas, Padang, 2012.