

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Spesifikasi Alat

- a. Nama : Rancang Bangun KiloVolt Peak (kVp) Meter
Sebagai Alat Ukur Uji Kesesuaian Pesawat sinar-X.
- b. Jenis : Alat Kalibrasi.
- c. *Range* Pengukuran : *Range* 50 – 70 kVp.
- d. Tegangan *Supply* : + 5 Volt DC dan + 12 Volt DC.
- e. Dimensi : 15 cm x 10 cm x 4cm.
- f. Sensor : Photodioda.
- g. Mikrokontroler Alat : Arduino Gelatino

Gambar Rancang bangun kVp Meter setelah dilakukan penyatuan rangkaian dan *box* dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Tampilan dari kVp Meter

4.2 Langkah-Langkah Untuk Memperoleh Nilai Tegangan Puncak Tabung/ kVp

Berikut hal-hal pokok yang dilakukan untuk memperoleh nilai tegangan puncak tabung (kVp) setelah setiap blok sistem rancang bangun kVp meter sebagai alat ukur uji kesesuaian pesawat sinar-X disatukan (*hardware* dan *software*):

1. Pengujian detektor
2. Karakterisasi Detektor
3. Pengujian Alat

Mengingat banyaknya bahasan tentang ketiga hal pokok di atas maka penulis akan jelaskan lebih rinci mengenai Pengujian detektor, Karakterisasi detektor dan Pengujian Alat pada sub Bab 4.3 sampai 4.5.

4.3 Pengujian Detektor

Langkah pertama yang dilakukan setelah pembuatan alat yaitu pengujian detektor, dikarenakan detektor merupakan hal pokok/ inti agar sinar-X dapat dideteksi, dan terukur dengan baik. Pengujian dilakukan dengan melakukan percobaan-percobaan terhadap komponen-komponen detektor yang berupa photodiode, pengaruh jenis dan ketebalan filter terhadap intensitas sinar-X (aluminium dan tembaga) sekaligus kestabilan dari IC Logaritma pada detektor. Berikut akan dijelaskan pengujian detektor, mulai dari jenis filter yang pernah digunakan, Jenis Photoda dan IC logaritma.

4.3.1 Pengujian Sensor Photodiode

Pengujian photodiode BPV10NF dan photodiode BPW34 dilakukan dengan cara ditembak dengan sinar-X dengan pengaturan tegangan tabung 50, 60, dan 70 kVp dengan arus tabung 10 mA kVp dan waktu 0,3 detik kemudian dilihat tegangan

yang dihasilkan oleh detektor, tegangan keluaran detektor diukur dengan minimum sistem gelatino ATMega16. Hasil tegangan yang diperoleh dari uji coba tersebut dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Sensitivitas Pembacaan Photodiode BPV10NF vs BPW34 Terhadap Sinar-X

No	Pengaturan Tegangan Tabung (kVp)	Tegangan Terbaca Dengan Photodiode BPV10NF (mV)	Tegangan Terbaca Dengan Photodiode BPW34 (mV)
1	50	0	0.07
2	60	0	0.09
3	70	0	0.14

Dari hasil uji pada Tabel 4.1 disimpulkan bahwa photodiode BPW34 lebih baik digunakan sebagai sensor pembacaan sinar-X dibuktikan dengan photodiode BPW34 bisa menghasilkan tegangan hingga 0.14 Mv saat dilakukan penyinaran sinar-X.

4.3.2 Pengujian Penguat Logaritmik

Setelah didapatkan photodiode yang sesuai yaitu BPW34 selanjutnya dilakukan pengujian kestabilan dan kemampuan penguatan dari IC LOG setelah dirangkai dengan sensor photodiode BPW34 yang dimasukkan kedalam tempat kedap cahaya, kemudian diuji dengan cara dilakukan penyinaran terhadap photodiode tersebut dengan jarak 100 cm, pengaturan tegangan tabung bervariasi dari 50 sampai 70 kVp, arus tabung tetap 10 mA dan lama waktu penyinaran 0.3 detik hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.2

Tabel 4. 2 Hasil Pengujian kestabilan dan kemampuan IC LOG setelah dirangkai dengan sensor photodioda

No	Jenis Pengujian	Hasil	Perbaikan
1	Menggunakan 1 Photodioda dalam satu detektor	Pembacaan tidak stabil walau dalam kondisi gelap dan pembacaan terdapat tegangan terbaca walau tidak dilakukan penyinaran sinar-X	Penambahan 1 photodioda pada masing-masing detektor.
2	Menggunakan 2 sensor photodioda dalam satu detektor	Pembacaan lebih stabil, masih belum bisa membaca mulai dari tegangan 0 mV	Menambah satu detektor lagi sebagai saklar sehingga alat hanya melakukan pembacaan nilai ADC ketika terpapar sinar-X.
3	Menggunakan 2 sensor photodioda pada masing-masing detektor dan satu detektor lagi sebagai saklar intruksi mulai baca nilai ADC dan sekaligus melakukan uji coba pengaruh flourecent screen terhadap detektor.	Hasil tegangan yang diperoleh sangat dipengaruhi terhadap waktu, hasil jauh berbeda jika pengaturan waktu berubah dan kemampuan pengukuran lebih baik tanpa flourecent screen.	Memulai uji coba rangkain penguat logaritma, dengan penggantian nilai komponen, memperbaiki rangkain dan tidak menggunakan flourecent screen.
4	Menggunakan 2 sensor photodioda pada masing-masing detektor dan tanpa detektor sebagai saklar setelah dilakukan perubahan nilai-nilai komponen dan rangkaian.	Detektor telah stabil dan dalam keadaan gelap tidak ada tegangan terbaca (0mV)	Melakukan uji ketebalan filter dan jenis filter yang sesuai agar tegangan tabung dapat terukur dengan baik

4.3.3 Pengujian Filter Sinar-X

Setelah jenis sensor photodioda yang memiliki respon yang baik terhadap sinar-X diperoleh sekaligus rangkaian dari IC LOG telah dapat digunakan untuk

mendeteksi sinar-X dengan baik dan stabil, selanjutnya dilakukan pemilihan jenis bahan yang paling baik untuk digunakan sebagai filter untuk mengukur tegangan tabung 50-70 kVp, jenis filter yang akan diuji penulis ambil berdasarkan penelitian sebelumnya yang menggunakan filter tembaga dan literatur lain yang menjelaskan bahwa alumunium memiliki karakteristik yang baik untuk digunakan sebagai filter sinar-X. Berikut adalah hasil dari uji coba filter jenis tembaga dan filter jenis alumunium dengan pengaturan tegangan tabung bervariasi 50 sampai 90 kVp, arus tabung 10mA, waktu 0.3 detik dan jarak 100 cm. Hasil uji filter dapat dilihat pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4

Tabel 4. 2 Pengujian Filter Tembaga vs Tegangan Tabung terhadap sinar-X

No	Tegangan Tabung (kVp)	Ketebalan Filter (mm) Tembaga		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 4. 3 Pengujian Filter Alumunium vs Tegangan Tabung terhadap sinar-X

No	Tegangan Tabung (kVp)	Ketebalan Filter (mm) Alumunium		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 di atas penggunaan filter aluminium lebih baik untuk digunakan, dikarenakan pada saat menggunakan filter tembaga tegangan tabung rendah tidak bisa terukur, sehingga tidak sesuai dengan tujuan awal penelitian yaitu pengukuran dilakukan pada tegangan tabung 50, 55, 60, 65, dan 70 kVp. Setelah melakukan uji coba kemampuan sensor photodiode, IC LOG, dan pengaruh jenis dan ketebalan filter penulis simpulkan bahwa:

1. Alat hanya menggunakan dua detektor dikarenakan hasil pengukuran lebih stabil tanpa harus menggunakan detektor ketiga sebagai saklar perintah baca pada ADC mikrokontroler.
2. Filter yang digunakan adalah Aluminium dengan kemurnian 99%, yaitu aluminium khusus yang digunakan untuk filter sinar-X dengan ketebalan 0.25 cm dan 0.5 cm. Hal ini dikarenakan pada saat penggunaan filter tembaga, dengan pengaturan tegangan tabung (kVp) rendah sinar-X tidak bisa dideteksi oleh detektor karena tembaga memiliki koefisien atenuasi lebih besar dibanding aluminium.
3. Detektor tidak menggunakan *fluorescent screen*, karena setelah melakukan pengujian kemampuan detektor lebih baik saat tidak menggunakan *fluorescent screen*.

4.4 Karakterisasi Detektor

Perlu diketahui bahwasannya detektor yang digunakan murni dibuat sendiri dan tidak memiliki acuan khusus (*datasheet*), sehingga untuk mengetahui karakteristik atau pengaruh intensitas sinar-X (kVp) terhadap keluaran detektor yang berupa besaran listrik (mV) harus dilakukan karakterisasi sendiri terhadap

detektor tersebut yaitu dengan mencari fungsi transfer dari detektor sinar-X, yaitu dengan menggunakan fungsi transfer. Fungsi transfer secara umum dirumuskan dengan:

$$y = f(x) \quad (4-1).$$

Dimana:

y = Keluaran detektor (mV)

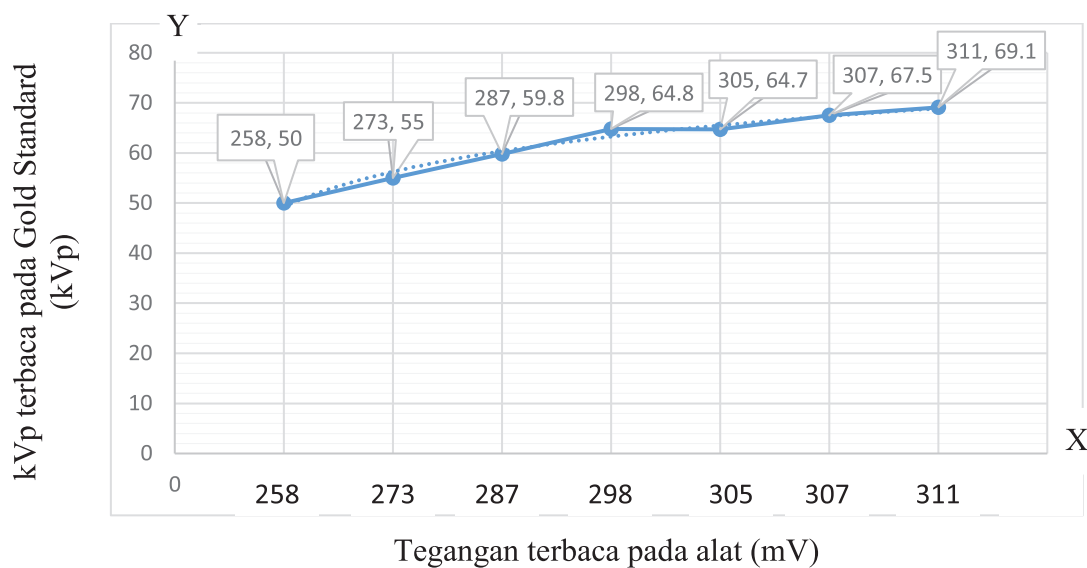
$f(x)$ = Fungsi dari masukan detektor (kVp)

Keluaran detektor (y) merupakan sinyal listrik (mV) harus sebanding dengan fungsi dari besaran fisis masukan (x) yang berupa energi sinar-X (kVp). Untuk mengetahui karakterisasi detektor sinar-X, tahap pertama yang dilakukan yaitu mengamati dan melakukan pengambilan data pengaruh keluaran detektor yang berupa sinyal listrik (mV) terhadap besaran fisis masukannya yang berupa sinar-X dalam satuan Kilo Volt Peak (kVp) dengan cara melakukan penembakan sinar-X (*expose*) terhadap alat tugas akhir dan *Gold Standard* secara bersamaan dan dilakukan pengamatan dan pencatatan terhadap hasil tegangan yang dihasilkan oleh detektor, dimana hasil tegangan keluaran detektor (y) tersebut dipengaruhi oleh besarnya tegangan tabung (kVp) yang tertampil pada *Gold Standard*, kedua hasil tersebut ditulis pada tabel pengukuran. Data hasil pengukuran hubungan keluaran detektor (mV) terhadap intensitas sinar-X (kVp) dapat dilihat pada Tabel 4.4

Tabel 4. 4 Data Pengukuran hubungan Tegangan keluaran detektor tugas akhir terhadap tegangan tabung yang terbaca oleh *Gold Standard* Radcal kVp Meter.

N0	Kvp X-Ray	Tegangan Terbaca pada alat (mV)	kVp terbaca pada Gold Standard (kVp)
1	50-70 kVp	258	50
2		273	55
3		287	59.8
4		298	64.8
5		305	64.7
6		307	67.5
7		311	69.1

Tabel 4.1 menunjukkan hubungan tegangan yang dihasilkan detektor (mV) terhadap tegangan tabung yang terbaca pada *Gold Standard* (kVp) setelah dilakukan penembakan (*expose*) sinar-X. Berdasarkan tegangan keluaran detektor alat di atas diambil kesimpulan bahwa setiap blok dalam sistem alat dapat bekerja dengan baik yang dibuktikan dengan setiap kenaikan intensitas sinar-X yang terbaca pada *Gold Standard* (kVp) tegangan yang dikeluarkan detektor juga mengalami peningkatan (mV). Berdasarkan data diatas dapat dibuat sebuah grafik untuk memperjelas hubungan antara tegangan yang terbaca pada alat dengan satuan mili Volt (x) dengan besaran tegangan tabung yang terbaca pada Gold Standard dengan satuan kilo volt peak (y) sehingga akan terlihat karakteristik kemampuan detektor terhadap tegangan tabung sinar-X (kVp). Grafik dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Grafik hubungan tegangan terbaca pada alat dengan kVp terbaca pada Gold Standard.

Gambar 4.2 adalah grafik hubungan antara tegangan keluaran detektor terhadap nilai tegangan tabung yang terbaca pada *Gold Standard*, dari bentuk grafik tersebut diketahui data yang dihasilkan tidak linear, karena tegangan yang dihasilkan detektor tidak memiliki kenaikan nilai yang tetap setiap kenaikan tegangan tabung. Semakin tinggi tegangan tabung yang terbaca pada *Gold Standard* maka kenaikan tegangan yang terbaca pada alat (tugas akhir) semakin berkurang. Karena data yang dapat diambil terbatas dan kenaikan tegangan detektor setiap kenaikan nilai tegangan tabung tidak sama, maka untuk melakukan pengolahan data dari detektor agar sebanding dengan tegangan tabung yang tertampil pada kVp meter pembanding (*Gold Standard*) digunakan fungsi transfer tak linier yaitu digunakan rumus fungsi logaritmik[26], penggunaan rumus logaritmik sebagai rumus fungsi transfer sekaligus sebagai penyempurna rumus menghitung logaritma dari koefisien atenuasi yang rumus nya yaitu:

$$\mu = \ln I_1/I_2 \quad (4-2).$$

dimana pada tahap ini penggunaan rumus tersebut baru hasil dari perbandingan keluaran detektor satu dan detektor dua dan belum dilogaritma naturalkan. Rumus fungsi transfer tak linear dapat dilihat pada (4-1) yaitu:

$$y = a + b \ln X \quad (4-3).$$

dimana:

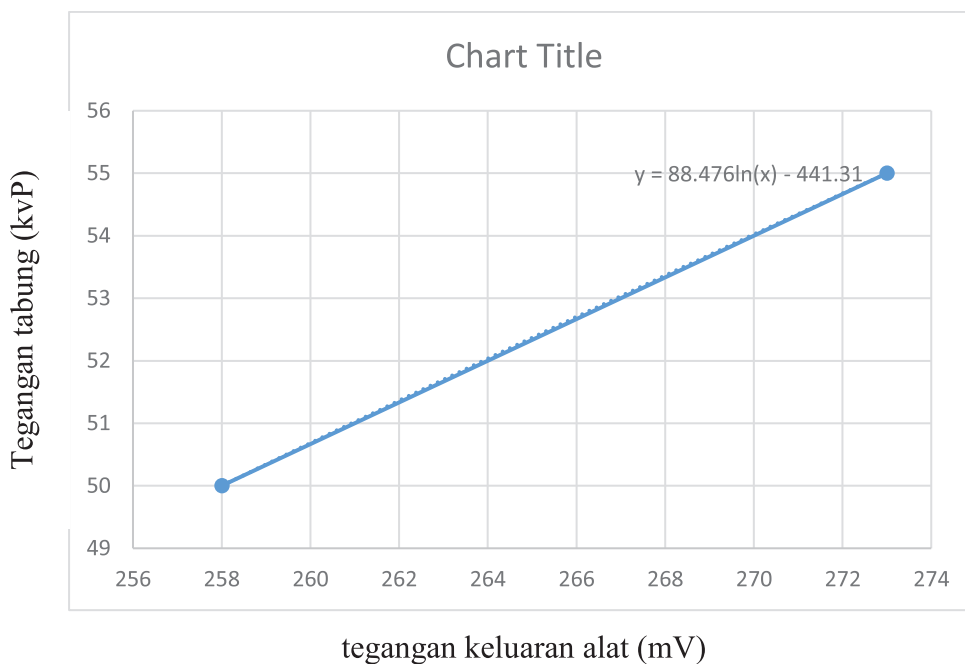
y= Tegangan tabung (kVp)

a= Offset/gelinciran

b= Slope/sensitivitas

$\ln X$ = logaritma natural dari keluaran detektor

Berikut adalah salah satu grafik fungsi transfer detektor sinar-X, dengan X adalah tegangan dari keluaran detektor (besaran elektrik) dan Y adalah intensitas sinar-X yang diterima (dalam kVp) pada pengaturan tegangan tabung 50-55 kVp arus tabung 10mA, waktu 0.3 detik dan jarak pengambilan data antara alat dengan *x-ray tube* adalah 100 cm, grafik fungsi transfer dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4. 3 Grafik hubungan kVp *gold* standar dengan ln tegangan detektor

Fungsi transfer pada Gambar 4.4 tersebut yaitu $y=88.476\ln(x)-441.31$ 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) dan juga setingan kVp pada pesawat sinar-X sebagai pembanding nilai kVp, hal ini dilakukan karenakan untuk tegangan tabung rendah (50-57 kVp) *Gold Standard* belum mampu untuk mengukur sinar-X.

4.5 Pengujian Kvp Meter

Setelah dilakukan uji kemampuan detektor, melakukan karakterisasi terhadap detektor sinar-X, dan pembuatan program arduino gelatino selesai, selanjutnya dilakukan pengambilan data untuk mengetahui kedekatan kemampuan pembacaan rancang bangun kVp meter (tugas akhir) terhadap *Gold Standard* (Radcal kVp Meter) sehingga nanti diperoleh data yang dapat diolah secara ilmiah agar diketahui tingkat presisi dan akurasi rancang bangun kVp meter. Gold standard adalah kVp meter telah terkalibrasi yang digunakan sebagai pembanding pengukuran tegangan tabung pesawat sinar-X. Spesifikasi *Gold Standard* yang digunakan adalah:

- a. Merek : Radcal Corporation kVp Meter
- b. Jenis : *Gold Standard*
- c. Range Pengukuran : 50-100 KvP
- d. Made in : USA

Gold Standard (Radcal kVp Meter) dapat dilihat pada gambar 4.4



Gambar 4. 4 *Gold Standard* (kiri)

Langkah-langkah pengambilan data dan pengujian alat dapat di uraikan sebagai berikut:

1. Menyiapkan alat dan bahan yang dibutuhkan.
2. Menyiapkan *Gold Standard* (Radcal kVp Meter) dan kVp Meter tugas akhir.
3. Melakukan pengecekan ulang pada alat seperti koneksi tegangan, filter radiasi dan koneksi masing-masing pin pada Integrated Circuit (IC).
4. Membuat tabel pengukuran.
5. Memposisikan Gold Standard dan Rancang bangun kVp meter lurus dibawah kolimator dengan jarak 90 cm
6. Melakukan pengukuran berdasar Test Poin (TP) yang dibutuhkan.
7. Mencatat hasil pengukuran pada tabel.
8. Melakukan pengujian alat dengan membandingkan alat dengan Gold Standard (Radcal kVp Meter).
9. Melakukan karakterisasi dan penyempurnaan rumus fungsi transfer
10. Melakukan Analisa data untuk mengetahui tingkat presisi dan akurasi alat.
11. Menganalisa kelebihan dan kekurangan alat
12. Membuat kesimpulan.

4.5.1 Hasil Pengujian dan Analisis

Setelah melakukan pengujian maka didapatkan data-data tegangan tabung yang terbaca pada Rancang bangun kVp Meter dan hasil tegangan tabung yang terbaca oleh Gold Standard. Data- data hasil pengujian alat dapat dilihat pada Tabel 4.5 hingga Tabel 4.10 sekaligus analisis terhadap data hasil pengujian tersebut.

4.5.1.1 Hasil pengukuran dan analisis pada tegangan tabung 50 kVp

Hasil pengujian Rancang bangun kVp meter pada pengaturan tegangan tabung 50 kVp dapat dilihat pada Tabel 4. 5.

Tabel 4. 5 Hasil pengujian alat pada tegangan tabung 50 kVp, setingan waktu 0.3 s dan arus tabung 10 mA.

N0	Kvp X-Ray	kVp terbaca	kVp Pembanding
1	50	54,02	-
2		49,99	-
3		52,36	-
4		52,03	-
5		53,36	-
6		53,03	-
7		51,02	-
8		51,69	-
9		54,67	-
Akurasi			5%
Presisi			±1,18

Tabel 4.5 adalah nilai tegangan tabung yang terbaca pada alat (tugas akhir) dan *Gold Standard* (Radcal kVp Meter). Pada saat pengujian, tegangan tabung pada pesawat sinar-X diatur sebesar 50 kVp, saat dilakukan *expose*, *Gold Standard* belum bisa membaca dan tegangan tabung (kVp) baru bisa terbaca saat nilai tegangan tabung lebih dari 57 kVp walaupun pada spesifikasi *Gold Standard* mempunyai *range* pengukuran 50-100 kVp. Untuk itu penulis mengambil nilai settingan tegangan tabung pada pesawat sinar-X sebagai pembanding. Berdasarkan data pengukuran di atas (Tabel 4.2) dihitung nilai akurasi alat sehingga dapat ditarik kesimpulan tingkat kesamaan pembacaan alat (tugas akhir) terhadap *Gold Standard* (Radcal kVp Meter) pada saat digunakan untuk mengukur/ melakukan kalibrasi

tegangan tabung pesawat sinar-X. Nilai presisi alat pada pengukuran tegangan tabung 50 kVp didapat ± 1.18 ini artinya kemungkinan kesalahan pembacaan pada nilai tegangan tabung 50 kVp bisa kurang atau lebih 1.18 dari setiap hasil pengukuran, dengan akurasi pembacaan rata-rata alat terhadap *Gold Standard* diperoleh sebesar 5%.

4.5.1.2 Hasil pengukuran dan analisis pada tegangan tabung 55 kVp

Hasil pengujian Rancang bangun kVp meter pada pengaturan tegangan tabung 50 kVp dapat dilihat pada Tabel 4. 6.

Tabel 4. 6 Hasil pengujian alat pada tegangan tabung 55 kVp , setingan waktu 0.3 s dan arus tabung 10 mA.

N0	Kvp X-Ray	kVp terbaca	kVp Pembanding
1	55	57,08	-
2		56,39	-
3		55,00	-
4		56,39	-
5		56,05	57,4
6		55,00	-
7		59,46	59,2
8		58,79	-
Akurasi			3%
Presisi			1,26

Tabel 4.3 adalah daftar nilai tegangan tabung (kVp) yang terbaca pada alat (tugas akhir) dan juga pada *Gold standard*, namun saat pengukuran pada *range* tegangan tabung 55 kVp *Gold Standard* yang digunakan masih belum mampu untuk membaca sinar-X. Untuk itu hasil pengukuran penulis bandingkan dengan nilai tegangan tabung yang diatur pada *control table* pesawat sinar-X. Pada pengaturan tegangan tabung 55 kVp diperoleh rata-rata pembacaan pada alat yaitu 56.77, tingkat presisi pembacaan ± 1.26 terhadap nilai pengukuran, dengan nilai akurasi

(kesalahan pembacaan) yaitu sebesar 3% terhadap nilai kVp yang terbaca pada *Gold Standard*.

4.5.1.3 Hasil pengukuran dan analisis pada tegangan tabung 60 kVp

Hasil pengujian Rancang bangun kVp meter pada pengaturan tegangan tabung 60 kVp dapat dilihat pada Tabel 4. 7.

Tabel 4. 7 Hasil pengujian pada tegangan tabung 60 kVp, setingan waktu 0.3 s dan arus tabung 10 mA.

N0	Kvp X-Ray	kVp terbaca	kVp Pembanding
1	60	63,91	62,10
2		59,80	59,80
3		63,91	61,80
4		62,10	57,80
5		64,80	64,80
6		67,01	63,20
7		65,69	62,00
8		56,94	59,00
9		65,25	62,70
Akurasi			3%
Presisi			±0,36

Tabel 4.4 adalah nilai tegangan tabung yang terbaca pada alat (tugas akhir) dan pada *Gold standard* (kVp Pembanding), pada saat pengujian tegangan tabung pada pesawat sinar-X diatur sebesar 60 kVp. Saat pengujian ini *Gold standard* sudah mampu membaca dikarenakan nilai tegangan tabung sudah diatas 57 kVp. Pada pengukuran setingan tegangsn tabung pesawat sinar-X 60 kVp diperoleh tingkat presisi pembacaan alat sebesar ±2.44 dengan kesalahan pembacaan (akurasi) terhadap nilai yang terbaca pada *Gold Standard* yaitu sebesar 3%.

4.5.1.4 Hasil pengukuran dan analisis pada tegangan tabung 65 kVp

Hasil pengujian Rancang bangun kVp meter pada pengaturan tegangan tabung 65 kVp dapat dilihat pada Tabel 4. 8.

Tabel 4. 8 Hasil pengujian pada tegangan tabung 65 kVp, setingan waktu 0.3 s dan arus tabung 10 mA.

N0	Kvp X-Ray	kVp terbaca	kVp Pemanding
1	65	64,68	64,7
2		67,48	67,4
3		58,79	62,3
4		64,68	65
5		60,72	64,3
6		64,80	63,4
7		58,45	62,4
Akurasi			$\pm 1,15$
Presisi			2%

Tabel 4.5 adalah nilai tegangan tabung yang terbaca pada alat (tugas akhir) dan pada *Gold Standard* (Radcal kVp Meter), pada saat pengujian tegangan tabung pada pesawat sinar-X diatur sebesar 65 kVp. Saat pengujian ini Gold Standard sudah mampu membaca dikarenakan nilai pengukuran *Gold Standard* (kVp Pemanding) telah masuk diatas 57 kVp. Pada pengukuran setingan tegangan tabung 65 kVp diperoleh tingkat presisi pembacaan alat sebesar ± 2.98 dengan kesalahan pembacaan (akurasi) terhadap alat pembanding yaitu sebesar 2%.

4.5.1.5 Hasil pengukuran dan analisis pada tegangan tabung 70 kVp

Hasil pengujian Rancang bangun kVp meter pada pengaturan tegangan tabung 70 kVp dapat dilihat pada Tabel 4. 9.

Tabel 4. 9 Hasil pengujian pada tegangan tabung 70 kVp setingan waktu 0.3 s dan arus tabung 10 mA.

N0	Kvp X-Ray	kVp terbaca	kVp Pembanding
1	70	69,11	69,1
2		71,86	71,2
3		74,12	71,4
4		68,31	68,4
5		64,80	68,7
6		67,51	67,5
7		62,58	62,1
8		67,11	69
Akurasi			1%
Presisi			$\pm 0,82$

Tabel 4.6 adalah nilai tegangan tabung yang terbaca pada alat (tugas akhir) dan pada *Gold Standard* (kVp Pembanding), pada saat pengujian tegangan tabung pada pesawat sinar-X diatur sebesar 70 kVp. Pada pengukuran tegangan tabung diatur sebesar 70 kVp pada *control panel* pesawat sinar-X. Saat pengukuran setingan tegangan tabung 70 kVp diperoleh tingkat presisi pembacaan alat sebesar ± 1.77 dengan kesalahan pembacaan (akurasi) terhadap alat pembanding yaitu sebesar 1%. Hasil analisis data alat keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 4.10.

Tabel 4. 10 Data hasil pengukuran tegangan tabung 50-70 kVp dengan kalibrator Radcal kVp meter, setingan waktu 0.3 s dan arus tabung 10 mA.

N0	Setingan kVp	Rata-rata Pembacaan Alat	Rata-Rata pembacaan Gold Standard	Presisi	Akurasi
1	50	52.6	50	± 1.18	5%
2	55	56.77	55	± 1.26	3%
3	60	63.27	61.47	± 0.36	3%
4	65	62.8	64.21	± 1.15	2%
5	70	69.71	68.9	± 0.82	1%

Berdasarkan data diatas disimpulkan bahwa alat dapat bekerja dengan baik, hal ini dapat dilihat dari hasil pengukuran yaitu setiap kenaikan tegangan tabung (Kvp) nilai pembacaan pada alat juga mengalami kenaikan. Namun masih terdapat nilai presisi dan akurasi yang besar, yaitu pada pengukuran 50 kVp nilai kesalahan pembacaan (akurasi) sebesar 5% dan nilai presisi paling tinggi diperoleh saat pengukuran 65 kVp yaitu ± 1.50 . untuk itu penulis berharap penelitian ini dapat dilanjutkan agar alat ini dapat berfungsi lebih baik.

4.6 Pembahasan system secara keseluruhan

4.6.1 Kinerja Alat

Setelah melakukan proses perancangan, pembuatan dan pengujian alat maka penulis dapat menyimpulkan sebagai berikut.

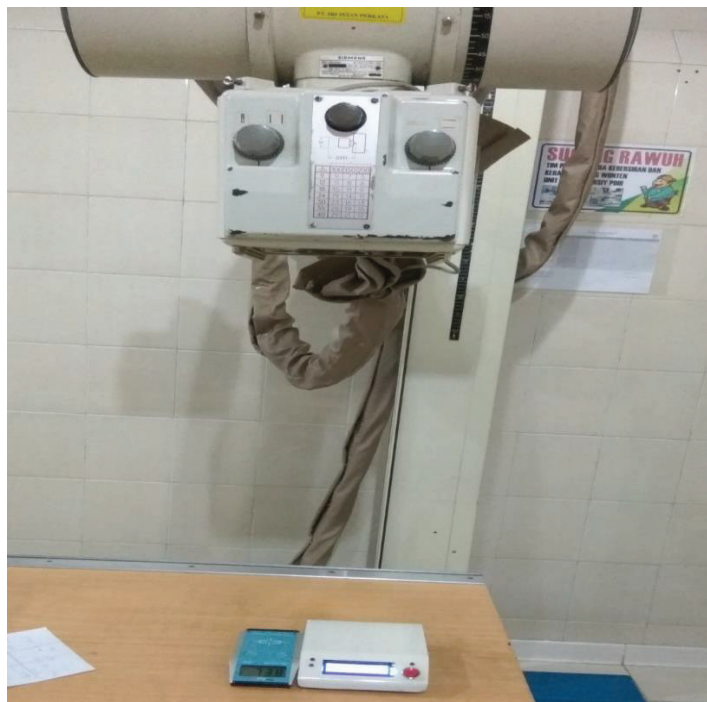
1. Berdasarkan data yang diperoleh saat pengujian, alat dapat berfungsi dengan baik dan dapat menampilkan nilai tegangan tabung (kVp) pesawat sinar-X, walaupun pada Tabel 4.7 masih terdapat nilai akurasi sebesar 5% terhadap nilai kVp yang ditampilkan *Gold Standard* dengan tingkat presisi pada setiap pengukuran terbesar yaitu ± 1.50 . Hal dapat terjadi karena diakibatkan kondisi pesawat sinar-X yang tidak standar, dan tidak mempunyai stabilisator tegangan. Selain itu data yang didapatkan juga terbatas karena *Gold Standard* kVp meter tidak bisa digunakan terlalu lama dan juga pengambilan data dilakukan tanpa alat pelindung diri (APD) terhadap bahaya paparan radiasi sinar-X yang baik.
2. Berdasarkan kesimpulan diatas maka dapat dikatakan modul “Rancang Bangun Kvp Meter Sebagai Alat Ukur Uji Kesesuaian Pesawat Sinar-X”

dapat berfungsi dengan baik dan dapat digunakan untuk mengukur tegangan tabung pesawat sinar-X.

4.6.2 Hasil Pengukuran

Pengukuran alat dilakukan menggunakan pesawat sinar-X Mindrif di Laboratorium Radiologi Kampus Teknik Elektromedik Program Vokasi Universitas Muhammadiyah Yogyakarta dan Radcal kVp Meter sebagai pembanding (*Gold standard*).

Berdasarkan hasil pengukuran dan perhitungan tegangan tabung (kVp) Yang terukur pada alat yang dibandingkan dengan Gold Standard Radcal kVp meter dimana masing masing test poin dilakukan pengukuran sebanyak 7 sampai 9 kali pengukuran. Alat ini lebih bagus jika digunakan untuk pengukuran kVp rendah yaitu Rentang 50-70 kVp. Untuk penempatan pengukuran dapat dilihat pada Gambar 4.5. jarak antara alat dengan kolimator tetap yaitu 90 cm.



Gambar 4. 5 Proses Pengujian Alat

Dari hasil pengukuran dan perhitungan tegangan tabung (kVp) Yang terukur pada alat yang dibandingkan dengan Gold Standard Radcal kVp meter dimana masing masing test poin dilakukan pengukuran sebanyak 7 sampai 9 kali pengukuran. Alat ini lebih bagus jika digunakan untuk pengukuran kVp rendah yaitu dibawah 75 kvp.

4.7 Kelebihan Alat

Adapun kelebihan “Rancang Bangun Kvp Meter Sebagai Alat Ukur Uji Kesesuaian Pesawat Sinar-X” ini adalah:

1. Dapat mendeteksi sinar-X dengan intensitas rendah, sehingga dapat digunakan untuk menguji ada atau tidaknya keluaran radiasi pada pesawat sinar-X secara langsung tanpa menggunakan film.
2. Terdapat LED indikator yang akan menyala jika ada paparan radiasi sinar-X.
3. Terdapat LED indikator pengisian dan LED indikator baterai penuh, saat melakukan pengisian daya pada alat, LED indikator pengisian akan menyala dan jika baterai penuh maka LED indikator pengisian akan mati dan LED indikator baterai penuh akan menyala.
4. Detektor tidak menggunakan *fluorescent screen* sehingga hasil pengukuran tidak terpengaruh *after glow fluorescent screen* seperti penelitian terdahulu.

4.8 Kelemahan/Kekurangan Sistem

Dalam pembuatan alat kalibrasi tegangan tabung pesawat sinar-X penulis tentu tidak luput dari kekurangan dan penulis sangat berharap kekurangan tersebut

kelak dapat diperbaiki agar alat ini dapat lebih baik. Kekurangan-kekurangan alat ini antara lain adalah:

1. Untuk pengukuran dengan durasi lama alat sering mengalami kenaikan sensitivitas sehingga terkadang terdapat nilai yang tidak diinginkan terbaca pada alat.
2. *Gold Standard* yang digunakan pada pengaturan tegangan tabung pada 50 dan 55 kVp tidak bisa digunakan karena *Gold Standard* baru bisa membaca tegangan tabung diatas 57 kVp. Sehingga penentuan rumus dan pembacaan tegangan tabung pada pesawat sinar-X berpatokan pada besar nilai setingan tegangan tabung (kVp) yang diatur.
3. Proses pengambilan data tidak tepat ditengah (terpusat) pada sinar-X dikarenakan *Gold Standard* dan *box* pada alat ini cukup besar sehingga kemungkinan dapat terjadi beda hasil pengukuran saat pengukuran dilakukan dengan posisi yang berbeda.
4. Saat digunkana lebih dari 20 kali expose sinar-X terkadang mengalami peningkatan sensitivitas pembacaan sehingga terkadang terdapat nilai pembacaan yang bukan berasal dari sinar-X.