

## PENGGUNAAN MEDIA PHET SIMULATION UNTUK MENENTUKAN WAKTU PARUH SUATU ATOM

MASFARATNA

MAN 1 Bungo

[Masfaratna96@gmail.com](mailto:Masfaratna96@gmail.com)

### ABSTRAK

Fisika kuantum merupakan sebuah ilmu yang membahas benda dengan ukuran yang sangat kecil dan tidak dapat dilihat dengan kasat mata. Fisika kuantum studi yang mempelajari mengenai perilaku materi serta energi yang ada pada tingkatan molekular, atom, nuklir serta tingkat mikroskopis dan juga ditinjau dari tingkat keamanannya. Sehingga diperlukan media yang relevan untuk mengajarkan materi proses peluruhan Radioaktif kepada peserta didik sesuai dengan kurikulum merdeka dengan pendekatan saintifik. Salah satu media yang relevan dengan dengan materi ini yaitu *PhET Simulation*. Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan hubungan inti mula-mula dan jumlah inti sisa pada proses peluruhan sehingga dapat ditentukan tingkat peluruhan pada isotop  $^{14}\text{C}$  menjadi  $^{14}\text{N}$  dan isotop  $^{238}\text{U}$  menjadi  $^{238}\text{Pb}$  pada waktu paruh ke-1, waktu paruh ke-2 dan waktu paruh ke-3. Serta untuk mengetahui tingkat ketelitian percobaan yang dilakukan dengan menggunakan laboratorium virtual *PhET Simulation*. Adapun metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen yakni dengan melakukan praktikum dengan sub menu “Tingkat Peluruhan”. Hasil penelitian menunjukkan bahwa persentase tingkat peluruhan  $^{14}\text{C}$  menjadi  $^{14}\text{N}$  pada waktu paruh ke-1 percobaan 49,2 % dan 50,0% perhitungan, pada waktu paruh ke-2 percobaan 74,5 % perhitungan 75,0% dan pada waktu paruh ke-3 percobaan 87,1 % secara perhitungan 87,5 %. Persentase peluruhan isotop  $^{238}\text{U}$  menjadi  $^{238}\text{Pb}$  pada waktu paruh ke-1 percobaan 49,5 % dan 50,0% perhitungan, pada waktu paruh ke-2 percobaan 75,0 % perhitungan 75,0% dan pada waktu paruh ke-3 percobaan 87,4 % secara perhitungan 87,5 %. Besar standar error paling besar hanya 0,8 hal ini menunjukkan data yang diperoleh dari hasil percobaan yang telah dilakukan sesuai dengan hasil perhitungan.

**Kata Kunci:** *PhET Simulation*, waktu paruh, Tingkat peluruhan

### ABSTRACT

Physics quantum is a science that discusses object with very size \_ small and not could seen with invisible . Physics quantum study that studies about behavior Theory as well as the energy that exists at the level molekular , atomic , nuclear as well as level microscopic . So that Relevant media is needed for teach Theory process decay Radioactive to participant educate in accordance with curriculum independent with approach scientific . Wrong one medium that is relevant to with Theory this that is Phet Simulation . Destination study this is for determine the relationship of the original nucleus and the number of remaining nuclei in the process decay so that could determined level decay in isotopes  $^{14}\text{C}$  to  $^{14}\text{N}$  and the isotope  $^{238}\text{U}$  becomes  $^{238}\text{Pb}$  at time 1st half , time 2nd half and time 3rd half . As well as for knowing level accuracy experiments carried out with use PhET virtual laboratory Simulation . As for method used \_ in study this is method experiment that is with To do practice with sub menu “ Level Decay ”. Results study show that percentage level decay  $^{14}\text{C}$  to  $^{14}\text{N}$  at time 1st half of the trial 49.2% and 50.0% calculated , at time the second half of the experiment 74.5% calculation 75.0% and at the time the third half of the trial 87.1% by calculation 87.5%. Percentage decay isotope  $^{238}\text{U}$  becomes  $^{238}\text{Pb}$  at time 1st half of the trial 49.5% and 50.0% calculated , at time the second half of the experiment 75.0% calculation 75.0% and at the time the third half of the experiment 87.4% calculated 87.5%. The biggest standard error is only 0.8 things this show the data

Copyright (c) 2022 SCIENCE : Jurnal Inovasi Pendidikan Matematika dan IPA

obtained from results experiments that have been conducted in accordance with results calculation 75.0% calculation and on time 3rd half of trial 87.1% calculatngly 87.5%

**Keywords :** PhET \_ Simulation , time beak , Level decay Radioactive substances

## **PENDAHULUAN**

Fisika adalah sains atau ilmu pengetahuan alam yang mempelajari materi beserta gerak dan perilakunya dalam lingkup ruang dan waktu, bersamaan dengan konsep yang berkaitan seperti energi dan gaya. Sebagai salah satu ilmu sains paling dasar, yaitu tujuan utama fisika adalah memahami bagaimana alam semesta bekerja. Menurut Yuningsi et al. (2021) Fisika adalah pelajaran sangat berkaitan dengan kreatifitas dalam menyelidiki dan mengembangkan keterampilan pemecahan masalah, pemahaman konsep maupun pengaplikasiannya dalam kehidupan sehari hari.

Materi pokok yang tercakup dalam fisika modern ( Beiser, 2003) adalah Relatifitas khusus, sifat partikel dari gelombang, struktur atom, mekanika kuantum, teori atom. Fisika kuantum merupakan sebuah cabang dari fisika modern dan merupakan materi yang bersifat abstrak . Fisika kuantum diperkenalkan oleh Albert Einstein yang membuka pandangan banyak orang terkait alam semesta. Fiska kuantum merupakan sebuah ilmu yang membahas benda dengan ukuran yang sangat kecil dan tidak dapat dilihat dengan kasat mata. Fisika kuantum studi yang mempelajari mengenai prilaku materi serta energi yang ada pada tingkatan molekular, atom, nuklir serta tingkat mikroskopis. Sehingga diperlukan media yang relevan untuk mengajarkan materi proses peluruhan Radioaktif kepada peserta didik sesuai dengan kurikulum merdeka dengan pendekatan saintifik. Hal ini sesuai dengan yang disampaikan oleh (Antomi, 2016) bahwa pembelajaran pengantar fisika kuantum dengan media phet simulation dapat meningkatkan minat dan pemahaman konsep mahasiswa/siswa. materi fisika tidak dapat dijelaskan secara verbal saja namun perlu di dukung oleh kegiatan praktikum untuk menunjang proses belajar mengajar.

Penggunaan media pembelajaran yang relevan sesuai dengan materi pelajaran yang diberikan dianggap sebagai solusi yang diharapkan. Sehingga diperlukan media pembelajaran yang relevan seperti *PhET simulation* efek Fotolistrik. Sehingga sesuai dengan tujuan pembelajaran dan kompetensi yang harus dimiliki siswa di abad 21 ini yang disebut 4C, yaitu *Critical Thinking and Problem Solving* (berfikir kritis dan menyelesaikan masalah), *Creativity* (kreatifitas), *Communication Skills* (kemampuan berkomunikasi) dan *Ability to Work Collaborastively* ( kemampuan untuk bekerja sama ). Hal ini sejalan dengan yang disampaikan oleh Fithriani et al. (2016) bahwa penggunaan media PhET dapat meningkatkan keterampilan berfikir kritis siswa.

Keunggulan laboratorium virtual dengan media *PhET simulation* adalah bisa menjelaskan konsep abstrak yang tidak bisa dijelaskan melalui penyampaian verbal. Laboratorium virtual bisa menjadi tempat melakukan eksperimen yang tidak bisa dilakukan di dalam laboratorium konvensional . Ini sejalan dengan yang disampaikan ( Riantoni, 2019) yang menyatakan *PhET simulation* dapat dikolaborasi dengan percobaan real atau sebagai pengganti laboratorium real. Sehingga dengan menggunakan *PhET simulation* dapat membantu menjelaskan konsep fisika yang abstrak yang tidak bisa dijelaskan dengan kasat mata dan dalam penggunaannya tidak memerlukan waktu yang banyak. Sehingga menurut pendapat penulis penggunaan media *PhET simulation* merupakan media yang relevan untuk mengajarkan materi Radioaktifitas. Hal ini sejalan dengan yang disampaikan oleh (Muzana,2021) bahwa siswa lebih menikmati proses pembelajaran karena bisa digunakan untuk belajar mandiri juga lebih mudah dipahami dalam setiap tahap simulasinya.

Permasalahan yang sering penulis temui dalam mengajarkan materi Radioaktivitas pada peluruhan dan menghitung waktu paruh, guru masih menggunakan metode konvensional yaitu

ceramah, dan siswa sulit memahaminya jika hanya dijelaskan dengan bahasa verbal. Sehingga siswa sulit mendefinisikan tingkat peluruhan Radioaktivitas. Radioaktif adalah salah satu konsep fisika yang mempelajari terkait suatu unsur yang tidak stabil. Selain karena keterbatasan panca indra juga dikarenakan tingkat keamanan jika dilaksanakan praktikum secara langsung. Dimana Siswa tidak dapat menganalisis perubahan zat radioaktivitas, peluruhan jumlah sampel waktu peluruhan. Sehingga dalam menyampaikan materi ini dibutuhkan media yang relevan seperti *PhET simulation*. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Sinaga, 2011) bahwa penerapan simulasi dan interactive virtual laboratory berhasil meningkatkan pemahaman konsep Radsioaktivitas. Setelah dijelaskan dengan bantuan media *PhET simulation* nanti diharapkan siswa mampu menggunakan panca inderanya untuk melakukan pengamatan secara mengenai peluruhan atom  $^{14}\text{C}$  menjadi  $^{14}\text{N}$  dan peluruhan atom  $^{238}\text{U}$  menjadi  $^{238}\text{Pb}$ .

Salah satu konsep dalam fisika yang perlu didukung dengan praktikum virtual Phet yaitu pada materi Fisika modern tentang waktu paruh (Herwinarso dkk, 2012). Oleh karena itu penelitian ini menggunakan media Phet simulation untuk menghitung waktu paruh yang dialami isotop karbon-14 dan uranium-238, menghitung besar konstanta peluruhan pada isotop karbon-14 dan uranium-238. Serta mengetahui tingkat ketelitian percobaan yang dilakukan menggunakan *PhET simulation*.

## METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimen, yaitu dengan melakukan praktikum virtual menggunakan *PhET simulation*. Adapun praktikum yang akan dilaksanakan adalah pada praktikum virtual waktu paruh. Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu laptop dan jaringan internet untuk mengakses laboratorium virtual *PhET simulation* sehingga siswa mampu menggunakan panca inderanya untuk melakukan pengamatan melalui eksperimen virtual *PhET simulation*.

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan 10 Juni 2021 dengan menggunakan 2 jenis isotop yaitu carbon-14 dan Uranium-238. Kemudian dianalisis menggunakan *PhET simulation*. Adapun prosedur percobaan adalah dengan menyiapkan laptop atau perangkat komputer yang telah terkoneksi internet. Kemudian masuk ke link <https://phet.colorado.edu/sims/cheerpj/nuclear-physics/latest/nuclear-physics.html?simulation=radioactive-dating-game&locale=in>. Lalu pilih submenu “Tingkat Peluruhan” Pilih jenis isotop yang akan ditinjau (carbon-14 dan Uranium-238). Untuk percobaan pertama menggunakan carbon-14 dan percobaan kedua menggunakan isotop uranium-238). Atur ulang semua inti yang ada pada wadah. Gunakan semua inti atom (1000 inti) untuk memudahkan proses pengamatan. Amati jumlah inti atom  $^{14}\text{C}$  dan  $^{14}\text{N}$  pada saat mencapai waktu paruh ke-1, ke-2, dan ke-3 di ulang sebanyak tiga kali. Catat hasil pengamatan pada tabel pengamatan. Ulangi langkah sampai tiga kali untuk meninjau isotop  $^{238}\text{U}$  menjadi  $^{238}\text{Pb}$ . Jumlah inti yang tersisa ini kemudian dianalisis untuk mengetahui hubungan antara waktu paruh dengan jumlah inti yang tersisa dalam peluruhan.

Untuk menentukan persentase tingkat peluruhan isotop menggunakan rumus

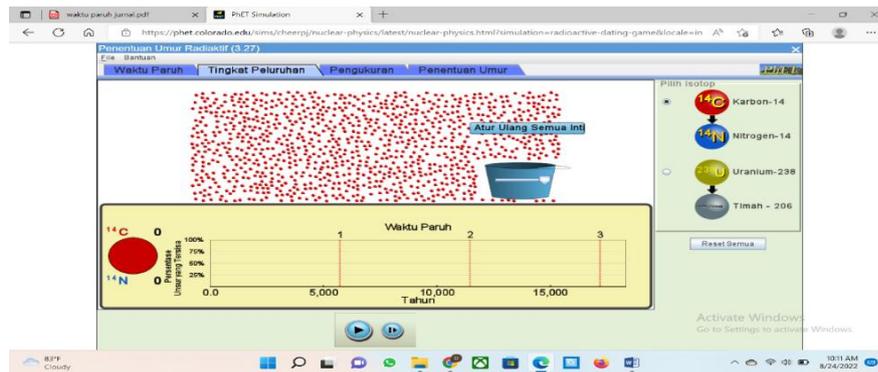
$$\text{Persentase} = \frac{\sum \text{inti yang telah meluruh} \times 100\%}{\sum \text{inti mula} - \text{mula}}$$

Setelah data percobaan diperoleh kemudian dianalisis dengan menghitung rata rata jumlah inti atom mula-mula dan inti sisa pada masing masing isotop. Lalu dihitung dengan persamaan matematis rumus yang digunakan dalam peluruhan. Sehingga dapat diketahui tingkat ketelitian percobaan menggunakan *PhET simulation*.

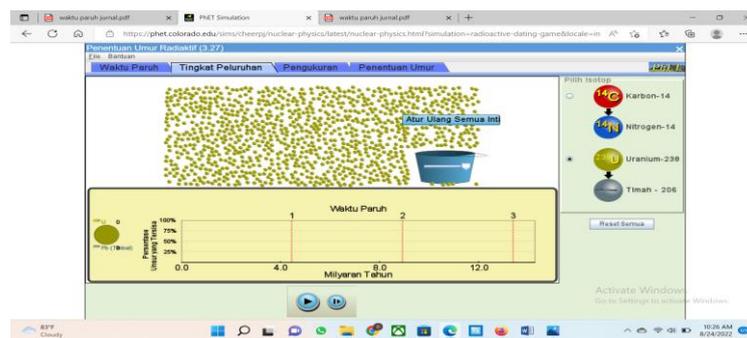
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Hasil

Penelitian srtuktur Inti Atom ini bertujuan menentukan waktu paruh suatu atom dan mementukan konstanta peluruhan dari suatu atom. Setelah masuk ke link *PhET simulation* ke submenú “Tingkat Peluruhan” lalu kita pilih jenis isotop yang akan ditinjau. Jenis Isotop yang digunakan Karbon-14 dan Uranium-238. Kita atur ulang semua inti yang verada pada wadah. Gunakan inti atom (1 000 inti) untuk memudahkan proses pengamatan. Pada gambar 1 terlihat bahwa sebelum meluruh seluruh inti karbon-14 berwarna merah sementara dari Gambar 2 terlihat bahwa mula-mula sebelum meluruh seluruh inti Uranium-238 berwarna hijau.

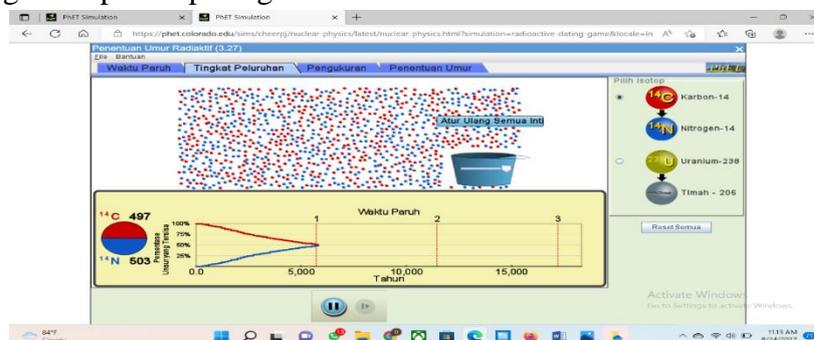


Gambar 1. Jumlah inti mula mula  $^{14}\text{C}$



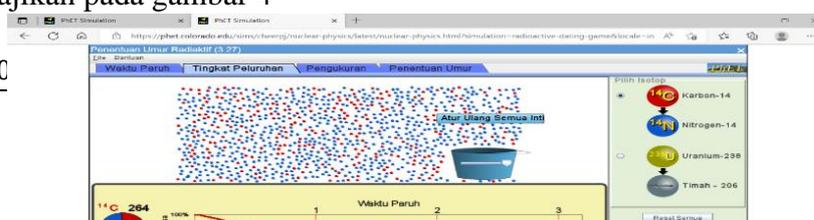
Gambar 2. Jumlah inti mula mula  $^{238}\text{U}$

Pada percobaan menggunakan  $^{14}\text{C}$  analisis tingkat peluruhan pada waktu paruh ke-1 dengan masuk ke link <https://phet.colorado.edu/sims/cheerpi/nuclear-physics/latest/nuclear-physics.html?simulation=radioactive-dating-game&locale=in>. Amati jumlah inti atom  $^{14}\text{C}$  dan  $^{14}\text{N}$  seperti yang ditampilkan pada gambar 3.



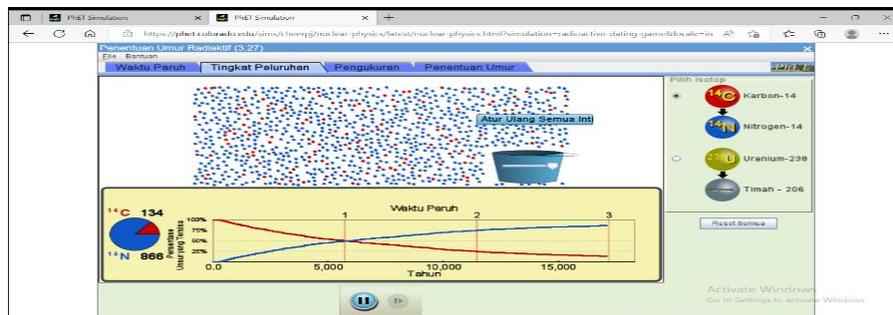
Gambar 3. Tingkat peluruhan  $^{14}\text{C}$  pada waktu paruh ke-1

Kemudian amati peluruhan  $^{14}\text{C}$  pada waktu paruh ke-2 dengan menguanakan Phet Simulation disajikan pada gambar 4



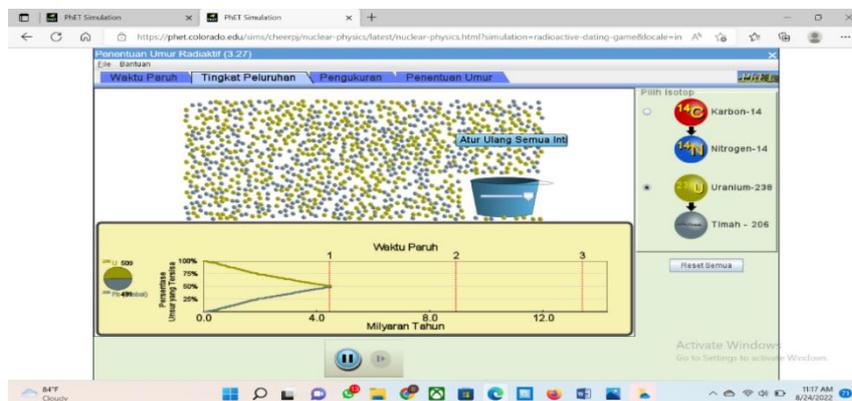
Gambar 4. Tingkat peluruhan  $^{14}\text{C}$  pada waktu paruh ke-2

Selanjutnya analisis tingkat peluruhan atom  $^{14}\text{C}$  menjadi  $^{14}\text{N}$  pada waktu paruh ke-3 dengan menggunakan PhET Simulation seperti disajikan pada gambar 5.



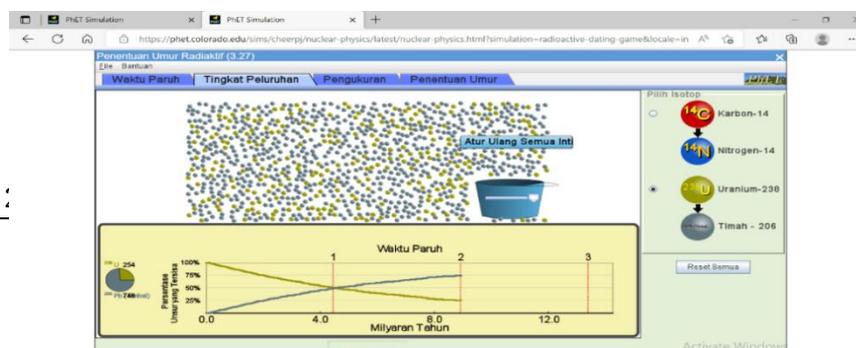
Gambar 5. Tingkat peluruhan atom  $^{14}\text{C}$  pada waktu paruh ke-

Pada percobaan menggunakan Uranium-238, analisis tingkat peluruhan pada waktu paruh ke-1 dengan menggunakan PhET simulation dapat diamati oleh gambar 6



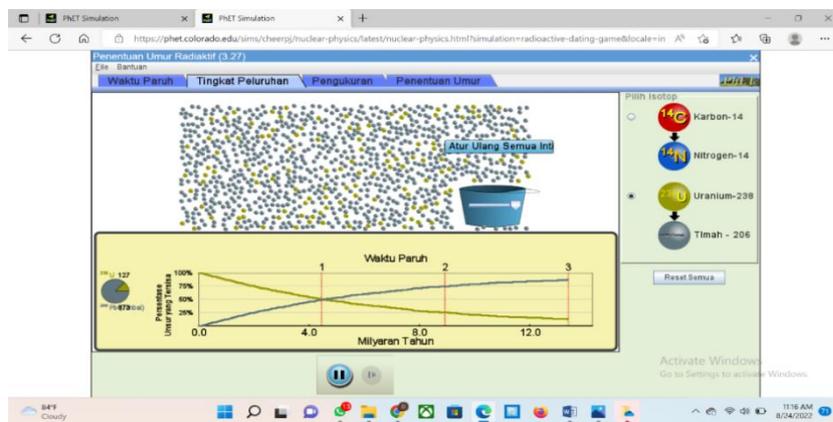
Gambar 6. Tingkat peluruhan atom  $^{238}\text{U}$  menjadi  $^{206}\text{Pb}$  pada waktu paruh ke-1

Kemudian analisis tingkat peluruhan Uranium 238 pada waktu paruh ke-2 dengan mengamati jumlah inti atom menggunakan PhET Simulation seperti ditampilkan pada gambar 7.



**Gambar 7. Tingkat peluruhan atom  $^{238}\text{U}$  menjadi  $^{238}\text{Pb}$  pada waktu paruh ke-2**

Selanjutnya untuk analisis tingkat peluruhan uranium -238 menjadi timah-206 pada waktu paruh ketiga dapat diamati pada gambar ke-7.



**Gambar 7. Tingkat peluruhan atom  $^{238}\text{U}$  menjadi  $^{238}\text{Pb}$  pada waktu paruh ke-2**

Pengamatan dilaksanakan hingga 3 kali, lalu dirata-ratakan kemudian dianalisis menggunakan laboratorium virtual PhET Simulation, catat hasil pengamatan dalam tabel data pengamatan. Seperti pada Tabel 1 dan Tabel 2

**Tabel 1. Jumlah Inti Atom  $^{14}\text{C}$  dan  $^{14}\text{N}$**

Waktu Paruh (Miliar Tahun)	Jumlah Inti Atom		Jumlah Total Inti Atom
	$^{14}\text{C}$	$^{14}\text{N}$	
I	511	489	1000
II	261	739	
III	134	866	

**Tabel 2. Jumlah Inti Atom  $^{238}\text{U}$  dan  $^{238}\text{Pb}$**

Waktu Paruh (Milyar Tahun)	Jumlah Inti Atom		Jumlah Total Inti Atom
	$^{238}\text{U}$	$^{238}\text{Pb}$	
I	504	496	1000
II	250	750	
III	126	874	

Waktu yang diperlukan oleh suatu inti untuk meluruh menjadi separuh dari jumlah inti mula mula disebut dengan waktu paruh, ini sesuai dengan yang disampaikan oleh (Rachman dkk,2019). Juga sesuai dengan pendapat (Wiyatmo, 2010) bahwa waktu paruh didefinisikan sebagai perioda waktu dimana jumlah cacah inti atom induk yang bersifat radioaktif tinggal separuh dari atom mula mula .Konsep tersebut tergambar pada tingkat peluruhan Atom  $^{14}\text{C}$  dengan lab Virtual pada tabel 1. Inti atom yang digunakan sebanyak 1000 inti atom  $^{14}\text{C}$  meluruh hingga seperuh dari inti mula-mula yaitu tersisa sebanyak 511 untuk waktu paruh pertama. Siasanya 489 inti lainnya telah meluruh telah meluruh menjadi Nitrogen-14. Pada waktu paruh ke-2, inti mengalami peluruhan mejadi saparuh dari yang tersisa sebanyak 504 tadi hingga hampir seperempat mula- mula inti  $^{14}\text{C}$  yaitu sebanyak 248 inti, sisanya sebanyak 752 inti lainnya meluruh menjadi  $^{14}\text{N}$ . Pada waktu paruh ke-3, inti meluruh separuh dari yang kedua yaitu 134 inti atau seperdelapan dari jumlah inti atom mula-mula. Sementara 866 inti lainnya meluruh menjadi  $^{14}\text{N}$ .

Pada tingakat peluruhan  $^{238}\text{U}$  pada tabel 2. Inti atom yang digunakan sebanyak 1000 inti atom  $^{238}\text{U}$  meluruh hingga separuh dari inti mula-mula yaitu tersisa sebanyak 504 untuk waktu paruh pertama. Siasanya 496 inti lainnya telah meluruh telah meluruh menjadi  $^{238}\text{Pb}$ . Pada waktu paruh ke-2, inti mengalami peluruhan mejadi saparuh dari yang tersisa sebanyak 504 tadi hingga hampir seperempat dari mula- mula inti  $^{238}\text{U}$  yaitu sebanyak 246 inti, sisanya sebanyak 754 inti lainnya meluruh menjadi  $^{238}\text{Pb}$  . Pada waktu paruh ke-3, inti meluruh separuh dari waktu paruh kedua yaitu 143 inti atau seperdelapan dari jumlah inti atom mula-mula. Sementara 857 inti lainnya meluruh menjadi  $^{238}\text{Pb}$  .

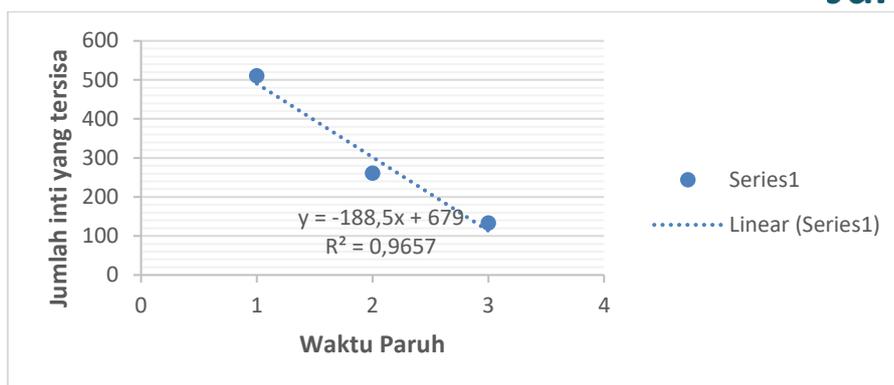
Adapun persentase tingkat peluruhan  $^{14}\text{C}$  dan  $^{238}\text{U}$  dihitung dengan rumus dan hasilnya pada tabel 5

$$\text{Persentase} = \frac{\sum \text{inti yang telah meluruh} \times 100\%}{\sum \text{inti mula} - \text{mula}}$$

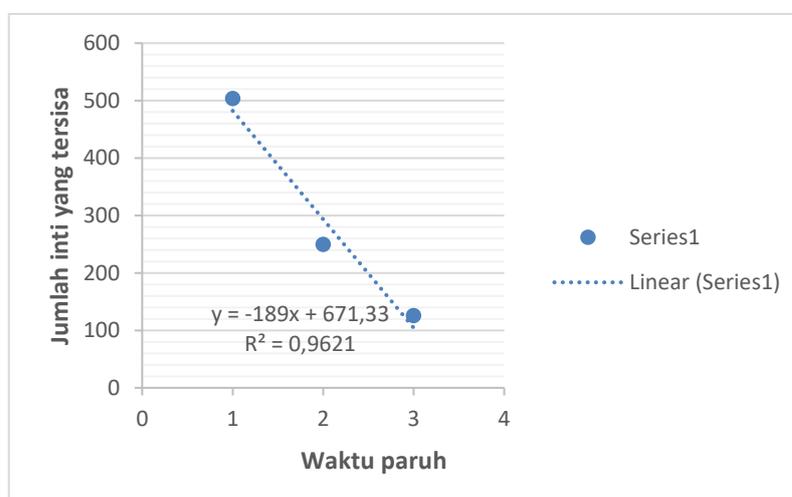
**Tabel 3. Persentase Perubahan Inti Atom menggunakan media Phet**

Waktu Paruh	Persentase (%)	
	untuk Isotop $^{14}\text{C}$ menjadi $^{14}\text{N}$	untuk Isotop $^{238}\text{U}$ menjadi $^{238}\text{Pb}$
1	49,2	49,5
2	74,5	75
3	87,1	87,4

Tabel 3 menunjukkan waktu paruh ke-1 untuk isotop  $^{14}\text{C}$  menjadi  $^{14}\text{N}$  adalah 49,2 %. Hampir meluruh separuhnya, sementara untuk waktu paruh ke-2 74,5 %. Untuk waktu paruh ke-3 87,1%. Untuk isotop  $^{238}\text{U}$  menjadi  $^{238}\text{Pb}$  waktu paruh ke-1 sebesar 49,5%, waktu paruh ke-2 peluruhannya 75 % dan waktu paruh ke-3 85,9%.



Gambar 9. Grafik hubungan antara jumlah inti yang tersisa terhadap waktu paruh isotop karbon-14



Gambar 10. Grafik hubungan antara jumlah inti yang tersisa terhadap waktu paruh isotop uranium-238

## B. Pembahasan

Hasil analisis percobaan dengan menggunakan virtual lab Phet Simulation jika dibanding dengan persamaan menunjukkan bentuk kurva yang menurun secara eksponensial. Berdasarkan data dari grafik tingkat ketepatan grafik ( $R^2$ ) sangat tinggi yaitu 0,9657 hampir mendekati 1.

Adapun pada Uranium-238 menjadi timah 206 dengan waktu paruh ke-1, waktu paruh ke-2 dan ke-3 ditampilkan pada grafik 10. Grafik 10 menunjukkan grafik hasil analisis hubungan antara jumlah inti yang tersisa terhadap waktu paruh isotop uranium-238. Hasil analisis percobaan dengan menggunakan Phet simulation menunjukkan bentuk kurva yang menurun secara eksponensial. Dari grafik terlihat bentuk kurva yang menurun secara eksponensial. Berdasarkan data yang diperoleh dari grafik tingkat ketepatan grafik ( $R^2$ ) sangatlah tinggi karena nilai  $R^2 = 0,9621$  mendekati 1.

Sehingga dapat disimpulkan hasil yang diperoleh melalui percobaan penggunaan laboratorium virtual Phet simulation didapat memiliki akurasi yang tinggi. Dengan kata lain, kegiatan percobaan yang telah dilakukan sesuai dengan hasil perhitungan yang berdasarkan konsep-konsep dari buku. Penelitian ini sejalan dengan yang dilakukan oleh (Rahel, 2021) yang menyatakan Percobaan menggunakan PhET Simulation memiliki tingkat ketelitian yang tinggi. Jumlah atom yang mengalami peluruhan hasil percobaan dan hasil perhitungan sama.

## KESIMPULAN

Waktu paruh suatu atom dapat ditinjau dari jumlah inti atom sisa dalam rentang waktu tertentu. Jika kita meninjau hasil perhitungan, dapat dilihat bahwa pada selang waktu tertentu jumlah inti atom yang tersisa selalu bernilai setengah dari jumlah atom sebelumnya. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukana kita ambil contoh pada atom karbon-14. Mula-mula jumlah inti atom karbon-14 sebanyak 1000 inti. Setelah mencapai waktu selama 5.730 tahun waktu paruh ke-1, jumlahnya berubah menjadi 506 (kurang lebih menjadi setengah). Periode 5.730 tahun selanjutnya waktu paruh ke-2 jumlah inti atom berkurang menjadi 251. Hal ini menunjukkan bahwa setiap mencapai periode tertentu, jumlah inti atom selalu berkurang menjadi setengah dari jumlah inti mula-mula. Berdasarkan analisis data dan grafik maka makin lama waktu paruhnya maka jumlah inti yang tersisa dalam peluruhan semakin sedikit.

Percobaan menggunakan PhET Simulation menunjukkan tingkat ketelitian yang tinggi. Tingkat ketelitian percobaan pada isotop  $^{14}\text{C}$  adalah 98,6 % sedangkan tingkat ketelitian pada isotop  $^{238}\text{U}$  adalah 99,5 %. Oleh karena itu penggunaan laboratorium virtual PhET Simulation dapat digunakan untuk menghitung waktu paruh, sebagai solusi media pembelajaran yang relevan untuk menggambarkan peluruhan pada isotop  $^{14}\text{C}$  menjadi  $^{14}\text{N}$  dan isotop  $^{238}\text{U}$  menjadi  $^{238}\text{Pb}$  sehingga fisika modern yang bersifat abstrak dapat dianalisis, diamati sehingga menjadi lebih menarik untuk pelajari.

## DAFTAR PUSTAKA

- Beiser, A. (2003). *Konsep Fisika Modern, Edisi ke-4*. Jakarta: Erlangga
- Fithriani, S. L., Halim, A., & Khaldun, I. (2016). Penggunaan media simulasi PhET dengan pendekatan inkuiri terbimbing untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa pada pokok bahasan kalor di SMA Negeri 12 Banda Aceh. *Jurnal Pendidikan Sains Indonesia*, 4(2), 45-52.
- Herwinarso, A. W. E., & Moy, A. (2012). Pembuatan Simulasi Eksperimen Berbasis Komputer dengan memanfaatkan Tabung Geiger Muller dan Ratemeter sebagai Media Pembelajaran Praktikum Fisika Modern di SMA. *Magister Scientiae*, (31), 36-46.
- MARPAUNG, Rahel Rehuella, et al. Penggunaan Laboratorium Virtual Phet Simulation Sebagai Solusi Praktikum Waktu Paruh. *Journal of Teaching and Learning Physics*, 2021, 6.2: 110-118.
- Muzana, S. R., Lubis, S. P. W., & Wirda, W. (2021). PENGGUNAAN SIMULASI PHET TERHADAP EFEKTIFITAS BELAJAR IPA. *Jurnal Dedikasi Pendidikan*, 5(1), 227-236
- Rachma, A. J., Putri, D. A., Ulfah, M., & Saraswati, D. L. (2019). Determining the Half Time and Analogy Constants of Radioactive Decay on the Illustration Board of Radioactive Decay with the Capacitor Filling and Discharging Method. *Jurnal Pendidikan Fisika*, 7(3), 306-316.
- Riantoni, C., Astalini, A., & Darmaji, D. (2019). Studi penggunaan PhET Interactive Simulations dalam pembelajaran fisika. *Jurnal Riset dan Kajian Pendidikan Fisika*, 6(2), 71-75.
- Safitrianaz, D., Latifah, N., Saragih, P. Y., & Saraswati, D. L. (2019). Analogi Waktu Paruh dan Konstanta Peluruhan (Disintegrasi) Radioaktif. *Jurnal Pendidikan Fisika*, 7(2), 179-188.
- SAREGAR, Antomi. Pembelajaran pengantar fisika kuantum dengan memanfaatkan media phet simulation dan LKM melalui pendekatan saintifik: Dampak pada Minat dan Penguasaan Konsep Mahasiswa. *Jurnal ilmiah pendidikan fisika Al-Biruni*, 2016,

5.1: 53-60.

- Swandi, A., Hidayah, S. N., & Irsan, L. J. (2014). Pengembangan Media Pembelajaran Laboratorium Virtual untuk Mengatasi Miskonsepsi Pada Materi Fisika Inti di SMAN 1 Binamu, Jeneponto (Halaman 20 sd 24). *Jurnal Fisika Indonesia*, 18(52).
- Sinaga, P. (2011, June). Penerapan Simulasi Dan Interactive Virtual Laboratory Pada Pembelajaran Fisika Modern Untuk Meningkatkan Pemahaman Konsep Radioaktivitas Inti, Reaksi Inti Dan Aplikasinya. In *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir PTNBR–BATAN Tema: Peran Sains dan Teknologi Nuklir di Bidang Kesehatan, Lingkungan, Industri dan Pendidikan dalam Mendukung Pembangunan Nasional, Bandung*.
- Wiyatmo, Y. (2010). *Fisika Modern*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Yuningsi, Y., Syamsu, S., & Darmadi, I. W. (2021). Pengaruh Metode Eksperimen Diskusi terhadap Pemahaman Konsep Fisika Siswa Kelas VII SMP Negeri 9 Palu. *Jurnal Kreatif Online*, 9(1), 140-149.