

NUCLEAR CLOCK



DINI PRATIWI

1401130181

Waktu merupakan suatu dimensi untuk menunjukkan kapan terjadinya suatu kejadian di alam ini. Untuk menghitung waktu tersebut maka diperlukanlah clock. Clock yang digunakan untuk menghitung dan menunjukkan waktu, harus ideal yaitu dapat menjaga waktu dengan sebaik-baiknya dan juga harus akurat dalam menghitung waktu. Clock pada awalnya berasal dari suatu pendulum yang beresonansi secara berulang dengan harmonic, yang disebut dengan harmonic osilator. Semakin lama clock terus berkembang agar dapat menghasilkan waktu yang lebih akurat dari yang sebelumnya. Penggunaan pendulum yang dulunya digunakan sebagai clock, berkembang menjadi penggunaan atom clock. Atom-atom yang pernah digunakan untuk clock, yaitu $^{133}\text{Cesium}$, $^{87}\text{Rubidium}$, ^1H . Atom clock tersebut menggunakan perputaran electron pada orbitnya sebagai timekeeper. Atom clock digunakan selamat beberapa tahun, karena atom clock merupakan clock yang sangat akurat. Tetapi baru-baru ini para ilmuwan menemukan sebuah clock yang dapat menghitung waktu lebih akurat daripada atom clock. Clock terbaru yang diperkenalkan ini disebut dengan nuclear clock. $^{229}\text{Thorium}$ dan ^{232}Th digunakan sebagai nuclear clock. Alasan nuclear clock lebih akurat daripada atom clock, karena nuclear clock menggunakan neutron yang terdapat pada inti atom sebagai timekeeper. Neutron yang terletak pada inti atom ini tidak mudah terpengaruh oleh gangguan eksternal, jika dibandingkan dengan elektron yang terletak di luar inti atom lebih mudah terkena gangguan medan magnet dan medan listrik sehingga membuat elektron sedikit mengalami pergeseran.

Time

Sebelum mendalami tentang clock, kita harus mengenal time (waktu) terlebih dahulu. Ilmuwan menganggap bahwa waktu merupakan sebuah dimensi, serupa tetapi tidak identik dengan tiga dimensi ruang yang kita ketahui di dunia sekitar kita. Di alam semesta ini terdapat empat dimensi, yaitu tiga spatial dimension, dan satu temporal dimension. Empat dimensi tersebut diperlukan untuk menentukan kapan dan dimana sebuah peristiwa terjadi, yaitu tiga dimensi mengidentifikasi lokasi dari kejadian, sementara satu dimensi mengidentifikasi waktu pada saat kejadian tersebut. Perbedaan yang jelas antara space (ruang) dan time (waktu) adalah kita dapat melihat space (ruang) di sekitar kita, sementara kita hanya dapat mengamati

perjalanan waktu. Kita menghitung space dengan rulers, sedangkan menghitung waktu dengan clock.

Natural Resonance

Suatu timekeeping (ketepatan waktu) yang ideal harus akurat dan menjaga waktu sebaik-baiknya. Suatu clock sederhana didasarkan pada suatu jenis gerakan berulang disebut dengan natural resonance (resonansi alami). Pada resonansi alami, energi dalam sebuah sistem yang terdapat dalam sebuah objek, menyebabkan objek tersebut melakukan gerakan tertentu secara berulang-ulang. Banyak benda di dunia ini yang melakukan resonansi alami, seperti goyangan dari sebuah kursi, dan resonansi alami biasanya melibatkan gerakan dari keadaan stabil equilibrium. Selama suatu objek memiliki energi yang berlebih, objek ini terus bergoyang bolak balik dari keadaan equilibrium dan mengalami resonansi alami. Beberapa resonansi, seperti contohnya bola yang memantul, tidak menjaga steady beat (kestabilan), sehingga sangat tidak cocok untuk clock. Tetapi ilmuwan telah menemukan sekelompok resonansi yang sangat teratur dan dapat digunakan untuk mengukur suatu perjalanan waktu dengan akurat. Resonansi macam ini termasuk ke dalam kelas yang penting dari sistem mekanik, yang disebut dengan harmonic oscillators.

Harmonic Oscillator

Salah satu natural resonance (resonansi alami) pertama yang dapat digunakan sebagai clock adalah pendulum. Ketika pusat pendulum dari gravitasi berada tepat di bawah porosnya, maka keadaan tersebut disebut dengan stable equilibrium. Ketika anda memindahkan pendulum dari posisi state equilibriumnya, maka menimbulkan energy potensial gravitasi dan mendorongnya kembali ke posisi equilibrium. Ayunan bolak-balik pendulum dari posisi kesetimbangannya (equilibrium position) secara berulang, disebut dengan osilasi. Ayunan pendulum mencangkup diantara dua energi, yaitu energi potensial dan energi kinetik. Perubahan dari suatu energy ke energy lain yang terjadi pada pendulum, merupakan bagian dari osilasi. Tetapi pendulum bukan hanya sekedar osilator, karena pendulum menyimpan gaya yang proporsional pada perpindahannya dari posisi equilibrium, sehingga pendulum disebut

dengan harmonic osilator. Sebagai pendulum yang bersifat harmonic osilator, pendulum ini mengalami gerak harmonik sederhana, osilasi yang teratur dan dapat diprediksi yang membuatnya dapat menjadi timekeeper yang luar biasa.

Clock

Clock adalah sebuah sistem fisik yang menghitung dan menunjukkan suatu waktu. Clock tidak hanya menunjukkan suatu waktu, tetapi clock juga harus di atur untuk mendapatkan waktu yang akurat. Waktu yang akurat tersebut diperlukan sebagai komunikasi, penelitian dalam bidang sains dan sistem navigasi. Waktu adalah hal kritical untuk mensinkronkan antara sinyal dan komputer. Dengan perkembangan clock, yang pada awalnya menggunakan pendulum kemudian berkembang menjadi atom clock dan baru-baru ini ditemukan clock yang lebih akurat dibandingkan atom clock, yaitu nuclear clock, maka clock dapat menjaga waktu lebih baik, seperti adanya sstem navigasi GPS, serta internet dapat disinkronkan.

Atom clock merupakan dasar dari perangkat GPS (Global Positioning System) dimana yang menentukan panjang dari second, selain itu untuk percobaan dalam menyelidiki dasar-dasar fisika dan relativitas, serta mempunyai peran dalam pelacakan partikel subatomic yang tampaknya berjalan dengan kecepatan lebih cepat daripada kecepatan cahaya.

Perkembangan clock telah menyebabkan kemajuan sains dan teknologi worldwide system dari pengukuran posisi yang tepat (GPS), aplikasi internet dimana secara kritis bergantung pada standart frekuensi dan waktu. Clock seperti atom clock juga dipasang pada time signal radio transmitter. Clock juga diperlukan dalam dasar interferometry pada radioastronomy.

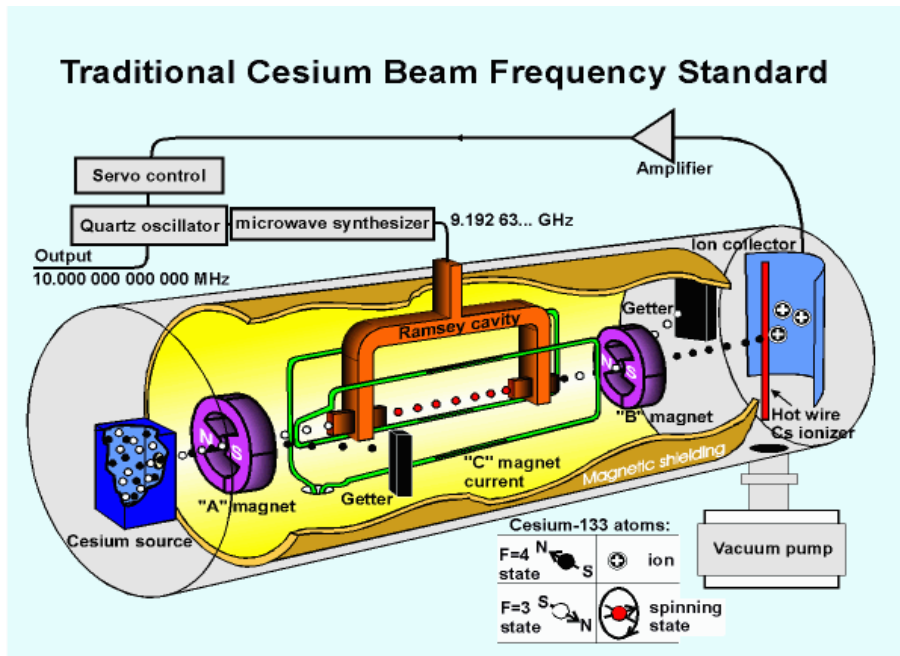
Perkembangan Clock

Pada awalnya clock menggunakan ayunan pendulum untuk menghasilkan osilasi yang dibutuhkan untuk menjaga waktu agar tetap stabil. Gerakan pendulum dari suatu titik kemudian kembali ketitik yang sama, disebut dengan osilasi. Pada pendulum clock, resonator adalah pendulum dan roda gigi dalam jam yang melacak waktu dengan menghitung resonansi.

Pendulum biasanya beresonansi pada satu frekuensi dalam setiap ayunan persekon. Ketepatan waktu ditentukan oleh akurasi dari resonator pada frekuensi tertentu. Pada atom clock menggunakan resonansi frekuensi sebagai resonatornya.

Dahulu, para ilmuwan mempunyai kesimpulan bahwa atom dan molekul mempunyai resonansi dan setiap elemen kimia menyerap dan memancarkan radiasi elektromagnetik dengan karakteristik frekuensi masing-masing. Resonansi ini inheren dalam ruang dan waktu. Oleh karena itu para ilmuwan memikirkan bahwa atom mempunyai potensi sebagai pendulum yang dapat membentuk dasar suatu clock yang akurat. Ide pertama yang menyatakan bahwa transisi atom untuk menghitung clock diungkapkan oleh Lord Kelvin pada tahun 1879. Kemudian pada tahun 1945, Profesor Universitas Columbia, Isidor Rabi menyatakan bahwa resonansi atom beam magnetic dapat digunakan sebagai dasar sebuah clock. Pada tahun 1949, National Bureau of Standards membuat atom clock pertama kali dengan menggunakan ammonia sebagai sumber getaran. Atom clock yang akurat pada pertama kalinya menggunakan $^{133}\text{cesium}$ yang dibuat oleh Louis Essen pada tahun 1955.

Beberapa atom yang pernah digunakan untuk atom clock, yaitu $^{133}\text{Cesium}$, $^{87}\text{Rubidium}$ dan $^1\text{Hidrogen}$. Untuk menggunakan $^{133}\text{Cesium}$ sebagai atom clock, $^{133}\text{cesium}$ dipanaskan di dalam oven sampai menjadi gas. Gas dari atom cesium yang meninggalkan oven dengan kecepatan tinggi bergerak ke sepasang medan magnet. Magnet memisahkan atom mana yang diserap dan melepaskan energi. Atom yang menyerap energi diarahkan melalui rongga microwave dimana terkena radiasi dengan frekuensi yang sangat dekat 9,192,631,770 cycles per second, dimana frekuensi dari radiasi tersebut diserap oleh $^{133}\text{cesium}$ dengan pergeseran energi menjadi lebih tinggi. Atom ini kemudian didorong oleh sepasang magnet menuju ke detektor. Sebuah servomechanism memonitor umpan balik antara detektor dan osilator. Umpan balik tersebut menyesuaikan microwave frequency sampai cocok dengan radiation frequency dari atom cesium, memaksimalkan jumlah atom untuk mencapai detektor. Setelah microwave frequency terkunci pada frekuensi cesium atom, kemudian itu akan dapat dibagi menjadi frekuensi yang dapat digunakan untuk menandai waktu secara akurat.



Pada atom clock yang menggunakan rubidium, menggunakan transisi dari $^{87}\text{Rubidium}$ antara dua hyperfine energy states. Ini menggunakan prinsip yang hampir sama dengan cesium. Pada $^{87}\text{rubidium}$, atom dipaksa untuk mengubah keadaan hyperfine energy states, kemudian diberikan radiasi microwave untuk mengembalikan keadaan awal atom (original state). Ketika atom kembali ke keadaan aslinya, maka transisi frekuensi yang paling tepat yang telah dicapai dan periode gelombang dapat digunakan untuk mengukur waktu secara akurat.

Atom clock mempunyai keakuratan dari laser-induced oscillation dari electron pada atom. Namun electron ini dapat dipengaruhi medan listrik dan medan magnet, yang memungkinkan atom clock akan "drift" sedikit demi sedikit, sekitar empat detik lebih dalam waktu sekitar 14 milyar tahun. Clock terbaru yang diperkenalkan, yaitu nuclear clock, hampir 100 kali lebih akurat jika dibandingkan dengan atom clock terbaik yang dipakai sekarang. Nuclear clock menggunakan orbit dari neutron disekitar inti atom untuk menjaga waktu agar selalu akurat .

Nuclear Clock

Nuclear clock tidak seperti atom clock, dimana atom clock menggunakan orbit electron dari atom sebagai clock pendulum. Nuclear clock menggunakan perputaran di orbit neutron pada inti atom sebagai timekeeper. Elektron terletak di luar inti atom dan mengelilingi inti atom, sehingga elektron terletak lebih jauh dari inti atom, jika dibandingkan dengan letak neutron yang terletak di dalam inti atom. Letak elektron yang jauh dari inti atom tersebut mengakibatkan elektron mudah terpengaruh oleh medan magnet dan medan listrik sehingga dapat mengakibatkan sedikit pergeseran pada elektron. Sedangkan neutron yang terikat dengan inti atom tersebut hampir sama sekali tidak terpengaruh oleh gangguan eksternal. Hal ini membuat neutron terikat lebih akurat dengan inti atom, daripada elektron dengan inti atom. Nuclear clock dibuat dari atom thorium. Untuk menghitung waktu, maka perlu dihasilkan osilasi dari atom thorium tersebut. Untuk menghasilkan osilasi, para peneliti berencana untuk menggunakan operasi laser pada frekuensi petahertz 10^{15} oscillation per second untuk meningkatkan inti dari thorium 229 ion menjadi keadaan level energy yang lebih tinggi. Tidak hanya elektron saja yang dapat meningkat menuju ke tingkat energi yang lebih tinggi. Neutron juga dapat mengalami eksitasi menuju ke tingkat energi yang lebih tinggi. Excitation energy bergantung pada struktur internal dari setiap nucleus, dimana neutron terdapat dalam nucleus atom.

Thorium Sebagai Elemen Radioaktif

Thorium merupakan elemen radioaktif yang muncul secara alami dan berlimpah di kerak bumi. Adanya thorium di kerak bumi lebih berlimpah jika dibandingkan dengan uranium. ^{229}Th merupakan isotop radioaktif thorium yang meluruh menghasilkan emisi alpha dengan masa paruh 7340 tahun. Isotop merupakan atom yang berasal dari elemen yang sama yang memiliki massa yang berbeda, karena perbedaan dari jumlah neutron pada atom tersebut. Massa atom ditentukan dari jumlah proton dan neutron yang terdapat dalam inti atom tersebut. Isotop mempunyai massa atom yang berbeda, tetapi mempunyai nomor atom yang sama. Nomor

atom merupakan jumlah proton yang terdapat dalam nucleus (inti atom) tersebut. Biasanya isotop yang stabil merupakan tidak radioaktif, tetapi banyak juga isotop yang radioaktif. Thorium merupakan jenis isotop radioaktif.

^{232}Th mempunyai waktu paruh $1,405 \times 10^{10}$ tahun, sedangkan ^{229}Th mempunyai waktu paruh 7300 tahun. ^{229}Th berasal dari peluruhan uranium 223. Sedangkan jika ^{229}Th sendiri akan meluruh menjadi ^{225}Ra . Waktu paruh (half life) merupakan waktu yang dibutuhkan radioaktif mengalami peluruhan hingga inti dari radioaktif berkurang setengahnya dari inti radioaktif awalnya.

Penggunaan Thorium Dalam Nuclear Clock

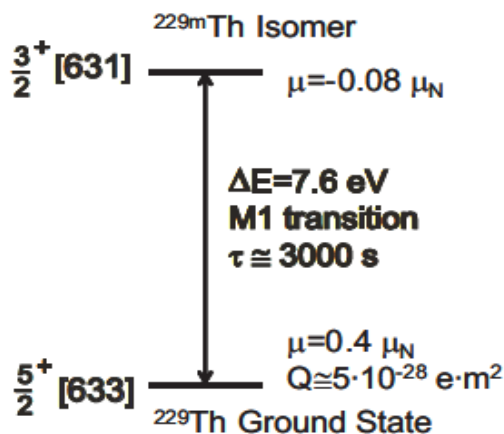
Proton dan neutron yang terletak di dalam inti atom (nucleus) dapat diatur tingkatannya dengan berbagai cara. Pengaturan dari tingkat energi yang paling rendah disebut ground state (tingkat dasar), dan tingkat lain disebut dengan excited states (tingkat yang tereksitasi). Excited nuclear states akhirnya mengalami perluruhan menuju ke ground state melalui emisi gamma atau ke nucleus lainnya melalui emisi partikel. Kebanyakan excited states biasanya berumur pendek, sedangkan yang berumur panjang disebut dengan isomer.

Elektron volt(eV) merupakan satuan energi yang sama dengan 1.602×10^{-19} Joule. Elektronvolt adalah sejumlah energi yang diperoleh sebuah elektron tunggal ketika elektron tersebut melalui sebuah perbedaan potensial elektrostatik satu volt dalam vakum. Beberapa tipe dari energi eksitasi nuklir berada pada kisaran keV sampai meV. Tetapi ada beberapa kasus dimana energy eksitasi lebih rendah. Seperti $^{229}\text{Thorium}$ memiliki metastable excited state $< 10\text{eV}$ diatas ground state. Eksitasi dari keadaan isomer yang sangat rendah (low isomeric state) ini diperkenalkan oleh Kroger dan Reich pada tahun 1976.

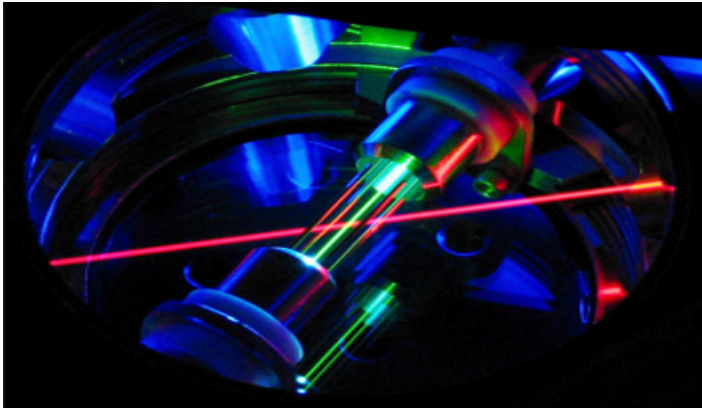
^{229}Th merupakan sistem yang unik dalam fisika nuklir karena hanya ^{229}Th tersebut yang dikenali dengan energi eksitasi dengan kisaran energi foton optic dan diluar dari kisaran transisi kulit elektron. Untuk sebuah nuclear clock, ^{229}Th sangat menjanjikan karena struktur tingkat elektroniknya cocok untuk laser cooling. Deteksi sensitif dari dari eksitasi ke isomeric state akan memungkinkan dengan menggunakan skema resonansi ganda (double resonance scheme) yaitu hyperfine structure dari transisi pada kulit electron (electron shell). Hyperfine

structure merupakan kumpulan efek yang berbeda yang menyebabkan sedikit pergeseran di tingkat energi pada atom. 7.6eV-isomer dari ^{229}Th mempunyai kemungkinan yang besar untuk melakukan resolusi tinggi laser spectroscopy dari transisi nuklir (nuclear transition). Resonansi nuklir menghubungkan ground state dan isomer dapat digunakan sebagai referensi dari clock yang sangat akurat dengan menggunakan ion trap dan laser pendingin.

Transisi antara nuclear ground state dan low-lying isomeric state pada ^{229}Th pada sekitar panjang gelombang 160nm akan memungkinkan menerapkan metode high-resolution laser untuk mengeksitasi nuklir, membuka sesuatu baru di perbatasan antara atom dan nuklir fisika. Hal ini juga menawarkan potensi untuk clock yang sangat tepat menggunakan transisi frekuensi sebagai referensi.



Penyesuaian laser untuk membuat tingkat energi yang lebih tinggi, membuat para ilmuwan memikirkan untuk mengatur frekuensi yang tepat, karena frekuensi tersebut akan digunakan untuk menjaga pengaturan waktu. Frekuensi yang tepat yang diperlukan untuk membangkitkan inti (nucleus) bergantung pada konfigurasi inti tersebut, dimana hal itu sangat bervariasi sehingga tidak dapat dipastikan.

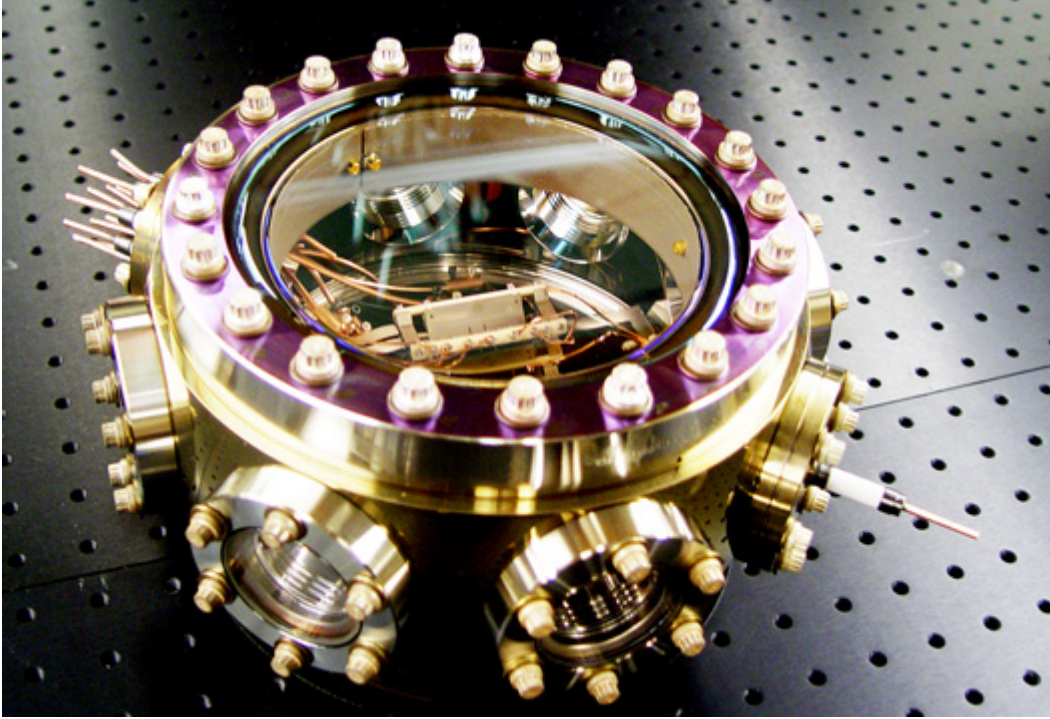


Gambar : Atom thorium dimasukkan ke dalam RF (Radio Frequency) ion trap, dimana ion trap ini merupakan salah satu tipe dari Mass Spectrometer.

Mass Spectrometer merupakan sebuah alat yang dapat memisahkan molekul berdasarkan mass-to charge ratio.

Ion nuclear clock perlu dipertahankan pada suhu yang sangat rendah-ten of mikrokelvin. Suhu yang sangat rendah tersebut diperlukan agar ion tetap terjaga dan tidak berubah. Untuk menghasilkan dan mempertahankan suhu tersebut, fisikawan menggunakan laser cooling (laser pendingin). Tapi pada system ini akan dapat menimbulkan masalah karena sinar laser juga digunakan untuk membuat oscillation time keeping.

Untuk mengatasi masalah tersebut, para peneliti memikirkan single $^{232}\text{Thorium}$ ion dengan $^{229}\text{thorium}$ ion akan digunakan untuk time keeping. Ion yang berat tersebut dipengaruhi oleh panjang gelombang daripada thorium 229. Para peneliti akan dapat mendinginkan ion yang berat tersebut, dimana dapat menurunkan suhu ion tanpa mempengaruhi oscillation. Cooling ion yang berperan sebagai refrigerator, menjaga ion agar tidak berubah. Hal ini diperlukan untuk membuat keakuratan clock untuk memberikan tingkat kinerja yang lebih tinggi. RF (Radio Frequency) ion trap menahan atom thorium ketika atom tersebut ditembak laser pendingin untuk mendinginkan atom hingga mencapai suhu yang sangat rendah.



Tantangan bagi para ilmuwan yaitu frekuensi dari laser yang digunakan untuk menembakkan pada thorium, belum ditentukan secara pasti frekuensi yang cocok dan pasti.

DAFTAR PUSTAKA

Major, Fouad. 1998. "The Quantum Beat". *The Physical Principle of Atomic Clocks*. New York: Springer.

Singh, Nirmal. 2011. "Radioisotopes : Application in Physical Science". In Tech.

S. Karshenboim, E. Peik. 2005. "Atomic Clock and Constraints on Variation of Fundamental Constants". Berlin : Springer.

Agabalyan, Natasha. 2012. "Nuclear Clock May Keep Time With Universe". *Cosmos magazines*

Toon-Georgia, Josh. 2012. "Nuclear Clock Progress Keeps on Ticking". *Futurity.*

Innovation New Daily Staff. 2012. "Atomic Clocks are Accurate, but Nuclear Clock Would Almost 100 Times More Accurate". *The Huffington Post-internet Newspaper.*

Shiga, David. 2011. "Nuclear Clock Could Steal Atomic Clock's Crown." *New Scientist Magazine.*

Range. 2012. "Proposed Thorium Neutron Based Clock Would be Accurate for Billions of Years". *SciTechDaily.*

www.thorium.at

<http://phys.org/news>. 2012. "Research develop blueprint for nuclear clock accurate over billions of years".

E. Peik, K. Zimmermann, M. Okhapkin, Chr. Tamm. "Prospects for a Nuclear Optical Frequency Standard based on Thorium-229". *Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Germany.*

"Research team shows nuclear clock could be 60 times more accurate than atomic clock." *PHYSorg.com.* 9 Nov 2011.